

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Ю.В. Стреналюк, Г.Н. Исаева, Е.Д. Штрафина**

**СОВРЕМЕННЫЕ СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Учебно-методическое пособие

**Королев  
2020**

УДК 681.324, УДК 004.71

Стреналюк Ю.В., Исаева Г.Н., Штрафина Е.Д. Современные сетевые технологии. / под ред. д.т.н., профессора Стреналюка Ю.В.

Учебно-методическое пособие. МГОТУ, Королёв Московской области, 2020.

Рецензент: д.т.н., профессор Артюшенко В.М.

В учебном пособии рассматриваются вопросы, связанные с основными понятиями и направлениями развития современных сетевых технологий.

Пособие построено по тематическому принципу, что позволяет использовать его отдельные разделы при изучении смежных дисциплин студентами этих других специальностей.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям магистратуры **09.04.03 «Прикладная информатика»** и бакалавриата **09.03.03 «Прикладная информатика»**, **09.03.02 «Информационные системы и технологии»** и **27.03.04 «Управление и информатика в технических системах»** при изучении курса «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации», а также для студентов других специальностей при изучении курсов: «Сети и системы передачи информации», «Сети корпоративных информационных систем», «Вычислительные машины, системы и сети», «Информационные сети и телекоммуникации» и т.п.

© Московский государственный областной  
технологический университет

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. Локальные вычислительные сети с технологией Ethernet.....	5
1.1. Стандарт Гигабит Ethernet по витой паре (ВП) .....	7
1.2. Типы спецификаций 10-Гбит Ethernet.....	9
1.3. 40-100 Гигабит Ethernet (100GbE) - IEEE 802.3ba .....	11
2. Глобальные оптические сети PDH, SDH, DWDM .....	17
2.1. Сети PDH .....	18
2.2. Сети SONET/SDH.....	21
2.3. Сети DWDM (Dense Wave Division Multiplexing).....	24
2.4. Сети OTN (Optical Transport Networks) .....	26
3. MPLS-технология .....	28
3.1. Основные принципы MPLS-технологии .....	28
3.2. Маршрутизатор LSR и таблица продвижения .....	28
3.3. Заголовок MPLS .....	30
3.4. Многоуровневая коммутация по меткам.....	30
4. Городские беспроводные сети 4G – LTE .....	33
4.1. Тренды и перспективы 4G .....	33
4.2. FDD и TDD.....	35
4.3. Совместимость LTE TDD и FDD .....	35
4.4. Какие проблемы возникают при малой скорости Интернета?.....	36
4.5. Принципы построения и функционирования сетей LTE .....	37
4.6. Варианты развития LTE .....	40
Список литературы .....	44
Приложение 1 .....	45
Приложение 2 .....	47
Приложение 3 .....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее методическое пособие содержит четыре раздела и три приложения.

В первом разделе пособия рассмотрены современные высокоскоростные стандарты проводных локальных вычислительных сетей типа *Ethernet*.

Второй раздел пособия посвящен описанию глобальных сетей на оптоволокне.

В третьем - представлены основные принципы *MPLS*-технологии.

Четвертый раздел касается городских беспроводных сетей *4G – LTE*.

В приложении 1 приведены диапазоны частот для *LTE* и *LTE-Advanced*.

В приложении 2 – типы и стандарты *Ethernet IEEE 802.3*.

В приложении 3 представлен перечень сетевых терминов и определений.

Сетевые технологии постоянно развиваются и совершенствуются. Изложенные в пособии количественные и качественные характеристики стандартов и протоколов в сетевом обеспечении являются базовыми и помогут обучаемым по направлениям магистратуры 09.04.03 «Прикладная информатика» и бакалавриата 09.03.03 «Прикладная информатика», 09.03.02 «Информационные системы и технологии» и 27.03.04 «Управление и информатика в технических системах» понять основные принципы функционирования различных видов сетей и, в случае необходимости, расширить свои знания в области современных сетевых технологий.

Данное пособие будет полезно также аспирантам, тематика диссертационных работ и область научных интересов которых связана с исследованием сетевых технологий.

## 1. ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ С ТЕХНОЛОГИЕЙ ETHERNET

За время, прошедшее с момента появления первых локальных вычислительных сетей, было разработано несколько сотен самых различных сетевых технологий и стандартов, однако, заметное распространение получила лишь часть из них.

Это связано, прежде всего, с высоким уровнем стандартизации принципов организации сетей и с поддержкой их известными компаниями. Тем не менее, не всегда стандартные сети обладают рекордными характеристиками, обеспечивают наиболее оптимальные режимы обмена. Но большие объемы выпуска их аппаратуры и, следовательно, ее невысокая стоимость дают им огромные преимущества. Важно и то, что производители программных средств в первую очередь ориентируются на самые распространенные сети. Поэтому пользователь, выбирающий стандартные сети, имеет полную гарантию совместимости аппаратуры и программ.

В настоящее время уменьшение количества типов используемых сетей стало тенденцией.

Увеличение скорости передачи в локальных сетях до **100** и даже до **1000 Мбит/с** требует применения самых передовых технологий, проведения дорогих научных исследований.

Серьезные исследования могут позволить себе только крупнейшие фирмы, которые поддерживают свои стандартные сети и их более совершенные разновидности.

К тому же, большинство потребителей ориентировано на определённые сети(уже установленные у них), соответствующие их функциональным потребностям, и не желает сразу и полностью заменять сетевое оборудование. В ближайшее время вряд ли стоит ожидать того, что будут приняты принципиально новые стандарты.

Быстродействие сетей с параметром скорости 100 Мбит/с в настоящее время вполне удовлетворяет требованиям большинства решаемых задач, но в ряде случаев его оказывается недостаточно. На рисунке 1.1 представлена хронология развития таких сетей и их стандарты.

Одной из перспективных является сеть *Gigabit Ethernet (GE)*. Переход на нее с *Ethernet* и *Fast Ethernet* с 10-100 Мб/с самый дешевый и психологически приемлемый, так как гигабитные сети других технологий потребовали бы замены сетевой аппаратуры, и тем самым увеличения затрачиваемых на развертывание сети средств.

В *Gigabit Ethernet*

- используются те же форматы пакетов (кадров) и те же их размеры;
- не требуется никакого преобразования протоколов в местах соединения с сегментами *Ethernet* и *Fast Ethernet*.

Необходимо только согласование скоростей обмена, поэтому главной областью применения *GE* стало соединение *Ethernet* и *Fast Ethernet* между собой.

Сеть *Gigabit Ethernet* – это естественный путь развития концепции стандартной сети *Ethernet*. Она может наследовать и недостатки своих прямых предшественников, например, негарантированное время доступа к сети.

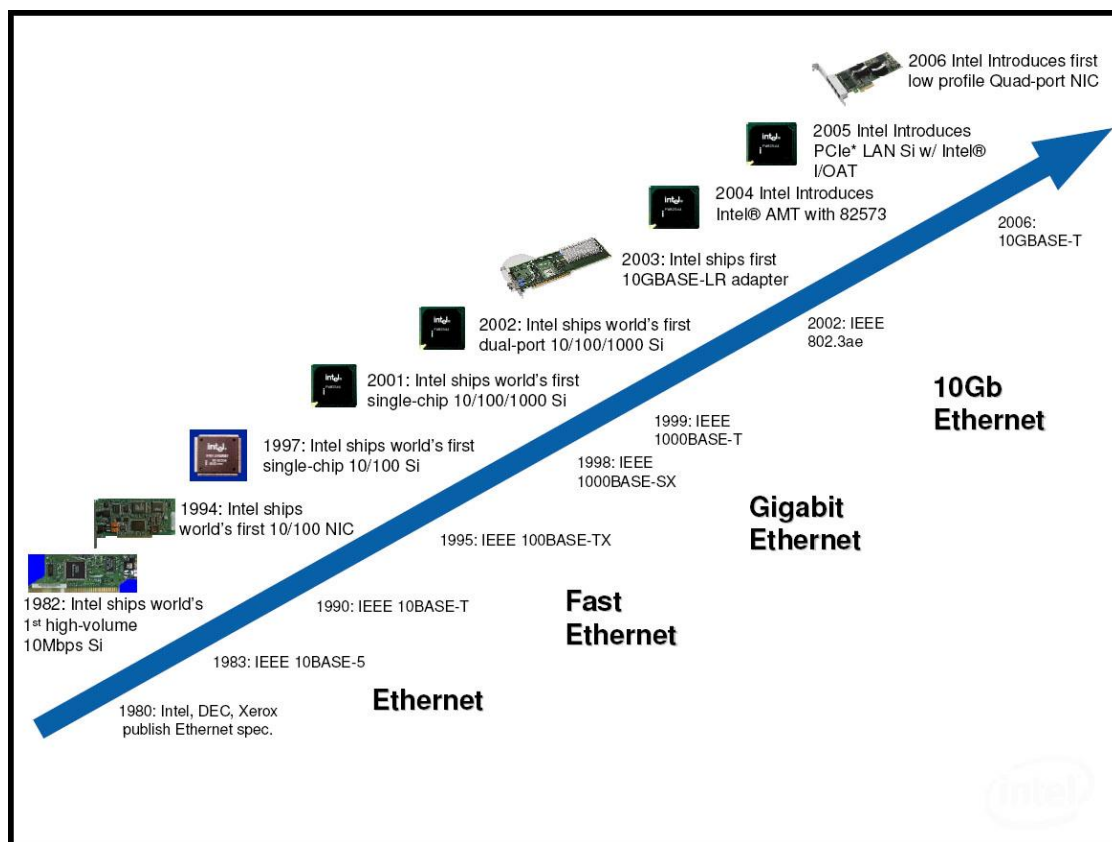


Рисунок 1.1 – Хронология стандартов высокоскоростных сетей

Однако, огромная пропускная способность приводит к тому, что загрузить сеть до тех уровней, когда этот фактор становится определяющим, довольно трудно. Вместе с тем, сохранение преемственности позволяет достаточно просто варьировать сегментами *Ethernet*, *Fast Ethernet* и *Gigabit Ethernet* и соединять их в единую сеть, и, самое главное, переходить к новым скоростям постепенно, вводя гигабитные сегменты только на самых напряженных участках сети.

С появлением сверхбыстродействующих серверов и распространением наиболее совершенных персональных компьютеров класса «*high-end*» преимущества *Gigabit Ethernet* становятся все более явными. Так, 64-разрядная системная магистраль *PCI*, уже фактический стандарт, вполне достигает требуемой для такой сети скорости передачи данных. В 1998г. был принят стандарт *IEEE 802.3z (1000BASE-X)*, а в 1999г. - стандарт *IEEE 802.3ab (1000BASE-T)*.

Номенклатура сегментов сети *Gigabit Ethernet* в настоящее время включает в себя следующие типы:

- *1000BASE-SX* – сегмент на многомодовом оптоволоконном кабеле с длиной волны 850 нм длиной до 550м. В данном сегменте используются светодиодные передатчики.

- *1000BASE-LX* – сегмент на многомодовом (длиной до 550м) и одномодовом (до 5км) оптоволоконном кабеле с длиной волны 1300нм. В данном сегменте используются лазеры.

– **1000BASE-T** (стандарт **IEEE 802.3ab**) – сегмент на счетверённой неэкранированной витой паре категории **5e** (длиной до **100м**). Передача ведется по каждой паре в двух направлениях одновременно, используя 5-ти уровневое кодирование (**PAM-5**).

– **1000BASE-TX** – данный стандарт использует витую пару категории **6**. Передающие и принимающие пары разделены по две пары в каждом направлении, что упрощает конструкцию приемопередающих устройств. Скорость передачи данных в этом сегменте достигает **500Мбит/с** по одной паре.

Для **Gigabit Ethernet** использован метод кодирования информации **8В/10В** (кроме **1000BASE-T**). Таким образом, 8 битам информации, которую нужно передать, ставится в соответствие 10 бит, передаваемых по сети. Минимальная длина пакета увеличена до 512 байт. Предусмотрена возможность блочного режима передачи пакетов. При этом абонент, получивший право передавать и имеющий для передачи несколько пакетов, может передать не один, а последовательно несколько пакетов, причем, адресованных разным абонентам-получателям. Дополнительные передаваемые пакеты могут быть только короткими, а суммарная длина всех пакетов блока не должна превышать 8192 байта.

### 1.1. Стандарт Гигабит Ethernet по витой паре (ВП)

Существует несколько типов номенклатуры сегментов сети **Gigabit Ethernet**. Например, один из них – стандарт **1000BASE-T, IEEE 802.3ab**, передача данных в котором представлена на рисунке 1.2.

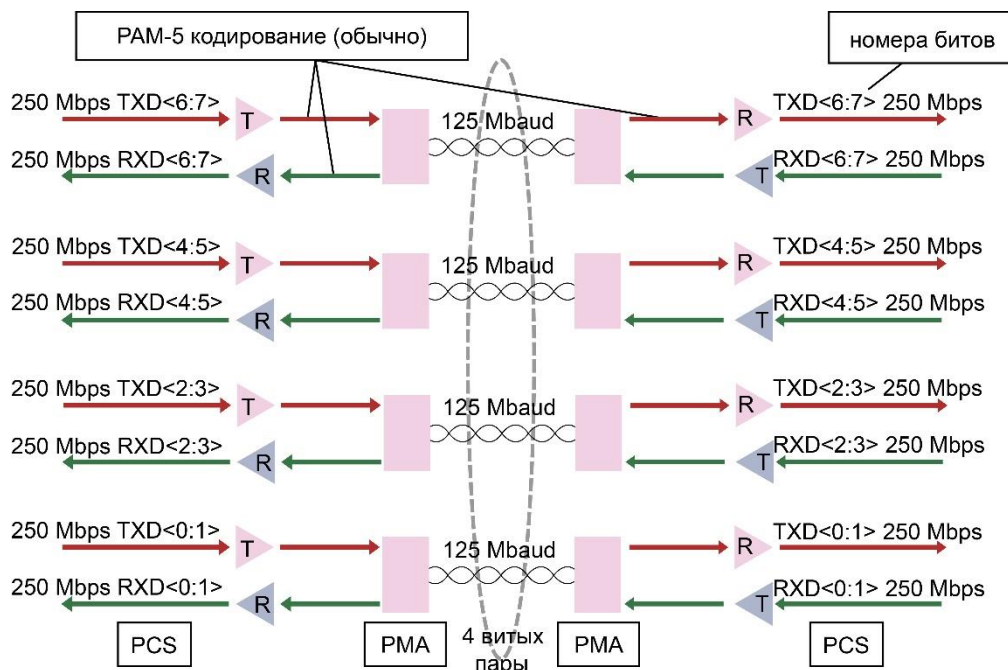


Рисунок 1.2 - Процесс передачи данных в 1000BASE-T, IEEE 802.3ab

Тип сети **1000BASE-T, IEEE 802.3ab** — стандарт, использующий витую пару категорий 5e или 6. В передаче данных участвуют все 4 пары. Скорость передачи данных – **250Мбит/с** по одной паре. Сеть **Gigabit Ethernet** создавалась для крупных

сетей и подсетей, объединяющих компьютеры крупных предприятий, которые распределены по нескольким зданиям.

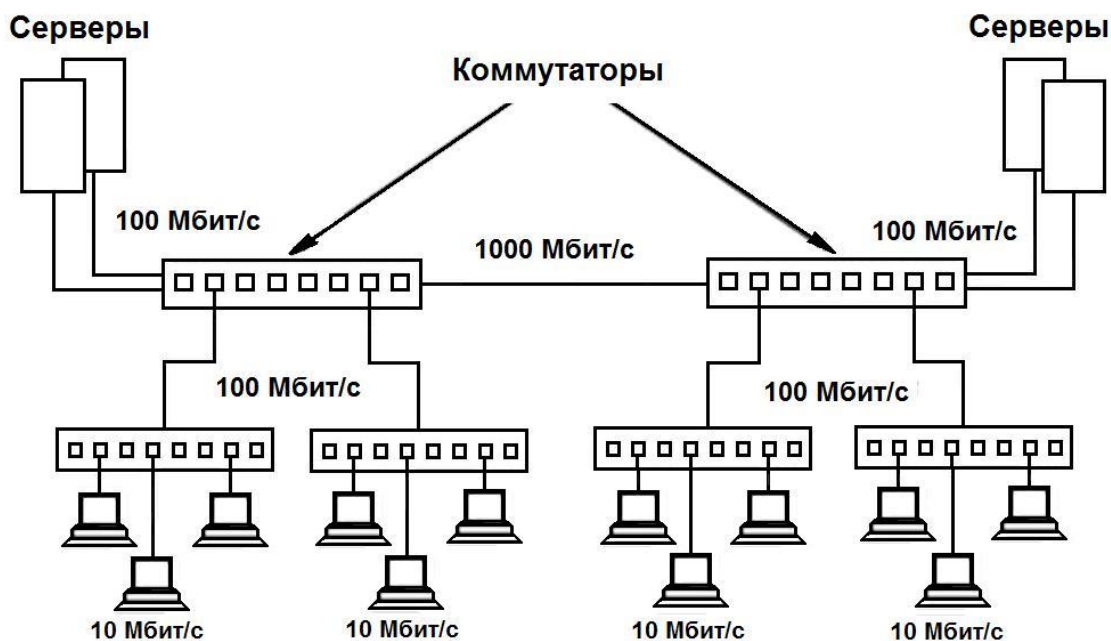


Рисунок 1.3 - Схема взаимодействия сетевого оборудования Gigabit Ethernet

Для этих распределенных компьютеров сеть позволяет, с помощью соответствующих коммутаторов (Рис 1.3), обеспечить каналы связи с высокой пропускной способностью. Эти коммутаторы, преобразующие скорости передачи, позволяют не только обеспечить высокую пропускную способность сложной сети, но и обеспечить коммутаторы со сверхбыстродействующими серверами линиями связи (Рис 1.4).

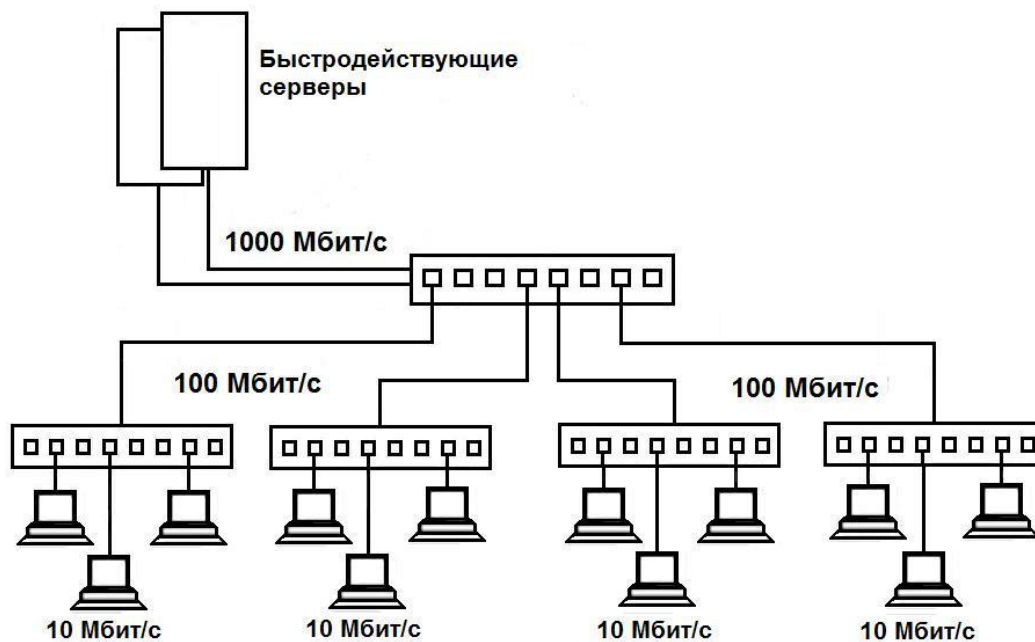


Рисунок 1.4 – Схема взаимодействия компонентов Gigabit Ethernet на быстродействующих серверах

Но есть задачи, которые не решаемы с помощью стандарта *Gigabit Ethernet*. В этой связи была разработана десяти гигабитная версия *Ethernet*, называемая



**10Gigabit Ethernet** (стандарт *IEEE 802.3ae*, принятый в **2002** году). Данная сеть принципиально отличается от предыдущих версий. Стандарт *10GbE* вошел в окончательную редакцию серии *IEEE Std 802.3-2005*. Он являлся развитием гигабитного *Ethernet*, скорость которого была увеличена в десять раз по сравнению с полудуплексным вариантом *1Gb Ethernet* и в сто раз – с *Fast Ethernet*.

Разработчики реализовали только дуплексный режим передачи, отказавшись от поддержки полудуплексного и монопольного режимов пакетной передачи. Стандарт поддерживает не только *LAN* и *MAN*, но и *WAN*, то есть позволяет взаимодействие между *10GE* и *SONET/SDH*, о которых подробно будет изложено в разделах пособия. Схема использования десятигигабитных интерфейсов и структура модели физического уровня для трех основных версий стандартов *10GE*: *10GBase-X*, *10GBase-R* и *10GBase-W* приведена на рисунке 1.5. Первая версия (*X*) использует формат кодирования *8B/10B*, как и *GE*, а две другие (*R* и *W*) используют формат *64B/66B*.

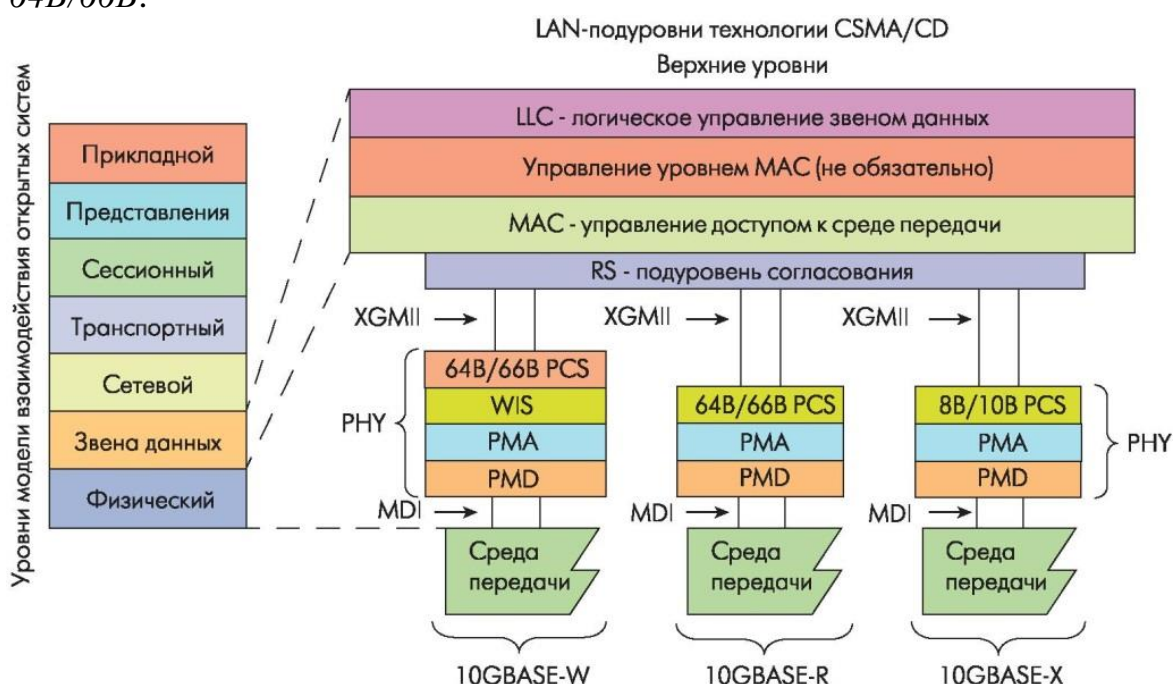


Рисунок 1.5. - Структура модели 1 и 2 уровней OSI в технологии 10GE

## 1.2. Типы спецификаций 10-Гбит Ethernet

Стандарт описывает три семейства версий *10GE*:

- **10GBase-X** описывает четырех потоковую передачу (в формате  $4 \times 8$  бит), с кодированием каждого потока *8B/10B*. Для каждой длины волны предназначен один из четырех потоков данных (*Lane*). Потоки объединяются мультиплексором *WDM* на передающей стороне перед подачей в *ВОК* и демультимплексируются на приемной стороне;
- **10GBase-R** – семейство, работающих на *ВОК* в трех разных окнах прозрачности: 850 нм (*S*), 1300 нм (*L*) и 1550 нм (*E*). Спецификации используются либо самостоятельно (после кодирования данных на подуровне *PCS* по схеме *64B/66B*), либо они могут превращаться в спецификации *10GBase-W* (если потоки данных после *PCS* передаются *WAN*-интерфейсу *WIS*);
- **10GBase-W** – это семейство версий, также работающих через *ВОК* в трех

разных окнах прозрачности: 850, 1300 и 1550 нм. Потoki после кодирования в подуровне *PCS* по схеме *64B/66B* они подключаются к WAN-интерфейсу *WIS* и инкапсулируются во фреймы, формируемые в технологиях *SONET* и *SDH* для транспорта потоков *10GBASE-SW*, *LW* и *EW* через физический уровень.

Итак, три базовые технологии: *10GBase-X*, *10GBase-R* и *10GBase-W* позволили разработать и реализовать следующие версии:

- *10GBase-LX4* – стандарт для медного кабеля (4 пары/шины) и для среды передачи на базе многомодового ВОК, работающего на четырех длинах волн в диапазоне 1260–1355 нм;

- *10GBase-SR*, *10GBase-SW* – стандарты для среды передачи на базе многомодового ВОК, работающего на длине волны 850 нм;

- *10GBase-LR*, *10GBase-LW* – стандарты для среды передачи на базе многомодового ВОК, работающего на длине волны 1300 нм;

- *10GBase-ER*, *10GBase-EW* – стандарты *10GE* для среды передачи на базе многомодового ВОК, работающего на длине волны 1300 нм и одномодового ВОК, работающего на длине волны 1550 нм.

- *10GBASE-T*, *IEEE 802.3an*-2006 на экранированной ВП (июнь 2006). Расстояние 100 м. Всюду дуплексный режим работы и топология "точка-точка".

На рисунках 1.6 и 1.7 представлены возможные виды коннектора и соединительных кабелей для данного типа стандарта семейства версий *10GE*.



Рисунок 1.6 - Коннектор 8P8C(RJ45)

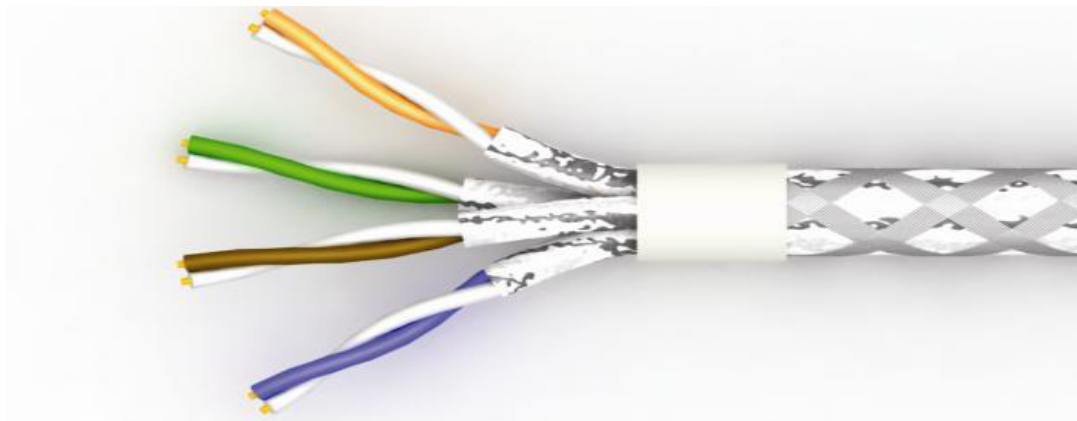


Рисунок 1.7 - Кабель витая пара

**Таблица 1.1 - Типы кабельных решений и максимальные длины каналов**

Кабельная проводка	Поддерживаемая длина канала	Стандарт
Класс E/Кат.6 неэкранированная	55 м	ISO/IEC TR-24750 TIA/EIA TSB-155
Класс E/ Кат.6 экранированная	100 м	ISO/IEC TR-24750 TIA/EIA TSB-155
Класс F	100 м	ISO/IEC TR-24750
Класс EA / Кат.6A	100 м	ISO/IEC 11801 доп. 1.1 и 1.2 TIA/EIA-568-B.2-10
Класс FA	100 м	ISO/IEC 11801 доп. 1.1 и 1.2

### **1.3. 40-100 Gigabit Ethernet (100GbE) - IEEE 802.3ba**

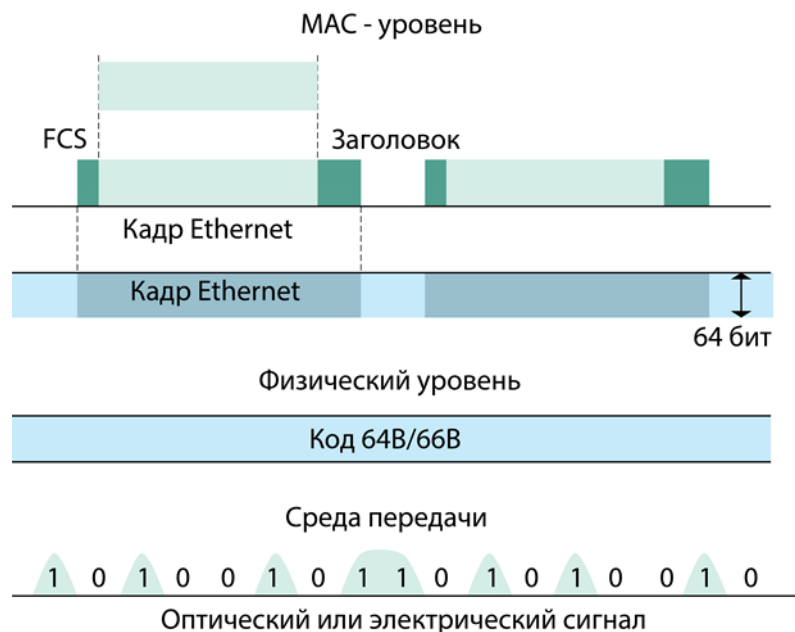
В ноябре 2007 г. рабочая группа приступила к работе над спецификациями стандартов **40** и **100 Gigabit Ethernet**. В ноябре 2008 г. - черновая версия. В марте 2009г. – первая чистовая версия, а окончательное утверждение стандарта состоялось в июне 2010 г. Технология основана на оптической среде передачи, а построение одномодовых и многомодовых трактов осуществляется с применением различных технических средств. Основные задачи, которые должен решать стандарт, были сформулированы в 2006 г. и сохранились в финальной версии.

Стандарт *40/100GE* должен:

- поддерживать только полнодуплексные режимы *Ethernet MAC*-уровня (рисунок 1.8);
- сохранять формат кадра *Ethernet 802.3 MAC*-уровня;
- сохранять минимальный и максимальный размеры кадров стандарта *IEEE 802.3*;
- обеспечивать поддержку *BER* на уровне не хуже  $10^{-12}$  на интерфейсе между *MAC*- и физическим уровнями;
- обеспечивать совместимость с оптическими транспортными сетями *OTN*;
- поддерживать скорость 40 и 100 Гбит/с на *MAC*-уровне.

Стандарт определяет восемь типов интерфейсов физического уровня (таблица 1.2) для различных сред и скоростей передачи (40 и 100 Гбит/с). В качестве среды передачи предусматриваются одномодовое (ОМ) и многомодовое (ММ) оптическое волокно, медная витая пара и электрическая объединительная шина (*backplane*).

Однако, скорость 100 Гбит/с для работы в объединительных шинах не предусмотрена. На скорости 100 Гбит/с реализуются дальний (*LR*, до 10 км) и сверхдальний (*ER*, до 40 км) режимы работы. Отличаются они только требованиями к финансовым затратам – сверхдальний режим требует лишние расходы на необходимость применения в ВОЛС оптических усилителей.



**Рисунок 1.8. - Физический и MAC-уровни стандарта 40/100GE**

Принципиальное новшество стандарта – переход с последовательной передачи сигнала по одной линии на параллельные линии по нескольким потокам. Скорость в каждом физическом канале – либо 10 Гбит/с, либо 25 Гбит/с. Так, для 100-Гбит/с интерфейсов возможна передача десяти Гбит/с потоков либо по 10 витым медным парам, либо по 10 ММ оптического волокна (ОВ) в каждом направлении.

Для работы по ОМ ОВ используются четыре потока по 25 Гбит/с, разделенные по длине волны и передаваемые в одном ОВ. Для 40-Гбит/с интерфейсов используются только 10-Гбит/с потоки, передаваемые по проводникам объединительной шины, по медным парам или по оптическому волокну.

Ключевой момент, который пришлось реализовать разработчикам стандарта, – возможность инкапсулировать *Ethernet*-потоки в транспортные потоки магистральных сетей *SDH* и *OTN*.

Таблица 1.2. – Типы физических интерфейсов стандарта IEEE 802.3ba

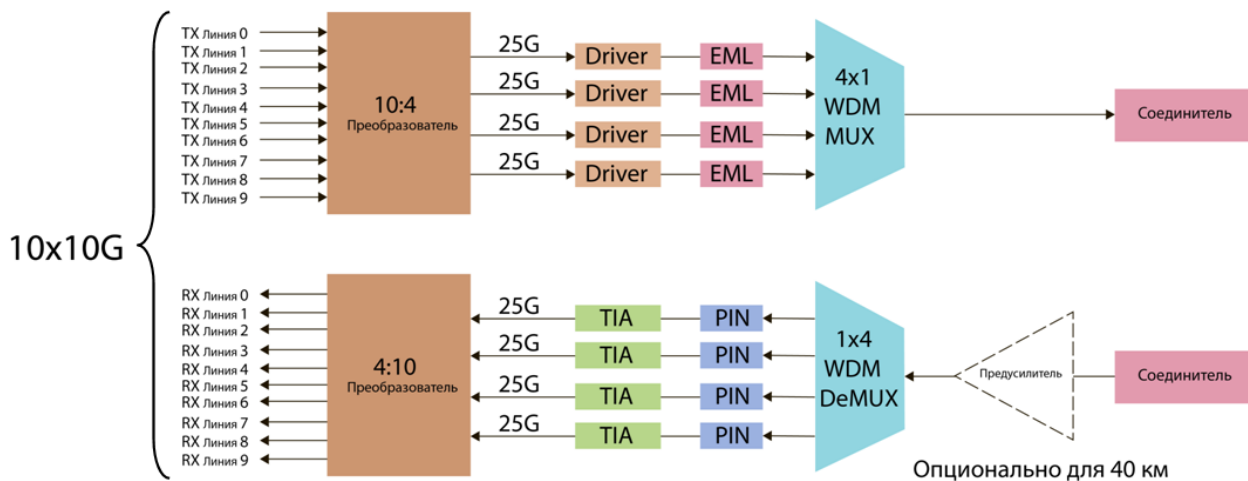
Физический интерфейс	Тип кодирования	Число потоков	Дистанция, не менее	Среда передачи
40GBASE-KR4	40GBASE-R	4 (lanes)	1 м	Объединительная шина
40GBASE-CR4	40GBASE-R	4 (lanes)	7 м	Медная витая пара
40GBASE-SR4	40GBASE-R	4 (lanes)	100/150* м	ММ ОВ, 850 нм
40GBASE-LR4	40GBASE-R	4 (WDM)	10 км	ОМ ОВ, 1300 нм
100GBASE-CR10	100GBASE-R	10 (lanes)	7 м	Медная витая пара
100GBASE-SR10	100GBASE-R	10 (lanes)	100/150* м	ММ ОВ, 850 нм
100GBASE-LR4	100GBASE-R	4 (WDM)	10 км	ОМ ОВ, 1300 нм
100GBASE-ER4	100GBASE-R	4 (WDM)	40 км	ОМ ОВ, 1300 нм
* 100 м для ОВ типа ОМ3; 150 м – для ОМ4				

Проблема состояла в том, что при равенстве номинальных скоростей (например, в 40 Гбит/с для *40GE* и *STM-256*), реальные скорости потоков различаются. Поток 42,25 бит/с *40GE* нельзя передать по каналам *STM-256* (39,81 Гбит/с) и разработчики отказались от поддержки инкапсуляции потоков Ethernet в потоки *SDH STM*, выбрав в качестве транспортной среды **OTN** (*ITU-T G.709*).

В результате потоки *Ethernet* можно инкапсулировать в потоки *OTN* соответствующих уровней: **10GE** – в *OTU2* (10,71 Гбит/с), **40GE** – в *OTU3* (43,02 Гбит/с), **100GE** (103,12 Гбит/с) – в *OTU4* (111, 81 Гбит/с). Архитектура *WDM* для *одномодового* соединения в 100 Гб/с изображена на рисунке 1.9.

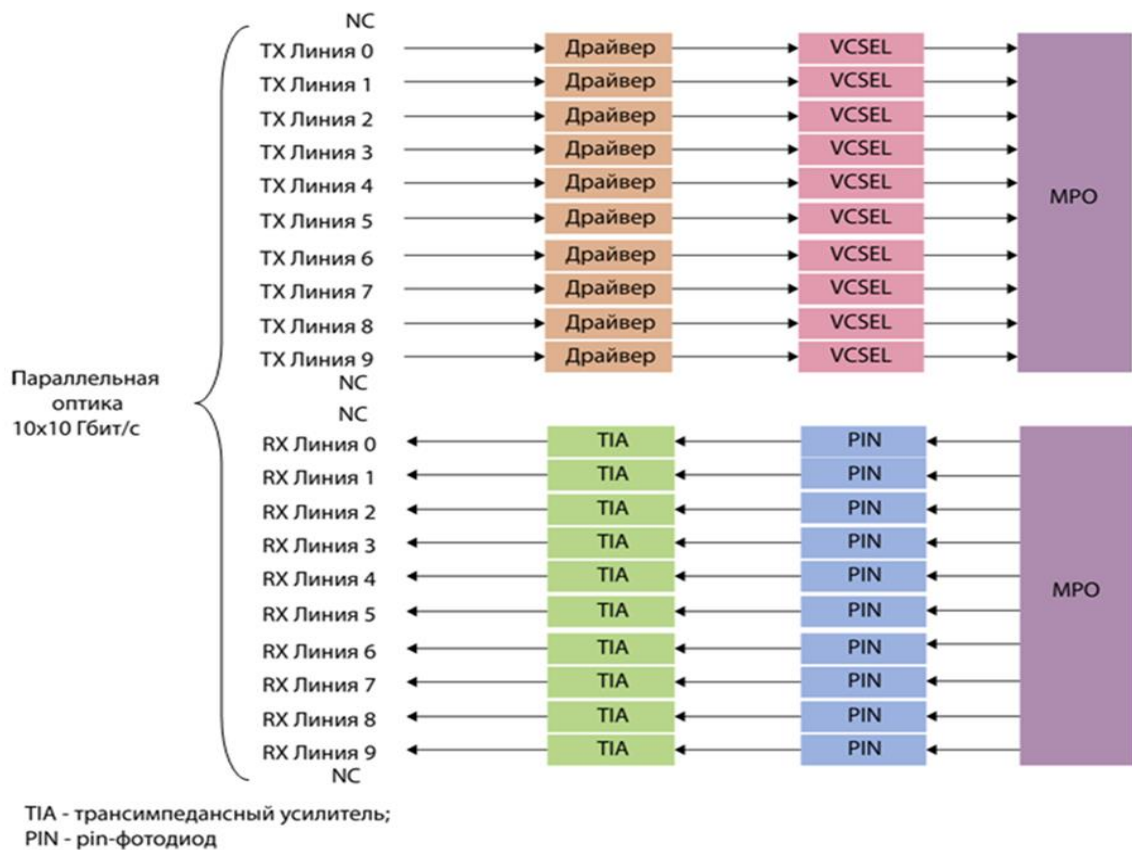
В случае передачи данных на расстояние **10 и 40 км**, используется технология спектрального уплотнения (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*). Для оптимизации электрических схем. интерфейс оптического приемопередатчика реализуется по десяти канальной схеме приема и передачи, причем все каналы работают на скорости 10 Гбит/с.

На передающем конце из десяти 10-гигабитных потоков формируются четыре потока со скоростью 25 Гбит/с, каждый из которых поступает на отдельный лазер с внешней модуляцией (*Externally Modulated Laser, EML*). Лазеры функционируют на различных длинах волн в окне прозрачности 1310 нм (от 1294 до 1310 нм), расстояние между оптическими несущими ~ 4,5 нм. Излучение лазеров с помощью сумматора вводится в единое одномодовое оптическое волокно.



**Рисунок 1.9 - Схема передачи данных с помощью технологии WDM**

Оптические сигналы распространяются по волокну параллельно без взаимного влияния, и поэтому результирующая скорость передачи данных в канале достигает **100 Гбит/с**. На приемном конце линии оптические несущие «демультиплексируются», распределяются по детекторам и усиливаются с помощью трансимпедансного усилителя (*Transimpedance Amplifier, TIA*). Затем 4x25-гигабитных потока преобразуются в исходные 10x10-Гб потоков. При реализации трактов передачи на базе *многомодовой* техники использование спектрального уплотнения невыгодно, и применяется альтернативный метод передачи информации под названием «параллельная оптика» (рисунок 1.10).



**Рисунок 1.10 - Метод передачи данных «параллельная оптика»**

Для организации 100-гигабитного канала связи задействуется матрица из десяти дешевых лазеров *VCSEL*, каждый из которых передает 10-гигабитный информационный поток через индивидуальное многомодовое волокно. В качестве оптического интерфейса служит 12- или 24-волоконный соединитель *MPO*.

Подобный прием позволяет применить в оптическом трансивере технологию *10GBaseT* с дальностью передачи 300 м. Все лазеры работают на одинаковой длине волны. В приемнике в качестве фотодетектора устанавливаются *PIN*-диоды, усиление сигнала осуществляется трансимпедансным усилителем. Заключительный этап передачи — восстановление синхронизации отдельных потоков и формирование первоначальных пакетов данных.

Стандарт *802.3ba* поддерживает только полнодуплексный режим работы. Итог *802.3 – ETHERNET*. Переработка стандарта *802.3 - Ethernet*, завершена, опубликован целостный стандарт. На международном уровне признаны первые три раздела (темно-синий цвет на рисунке 1.11).

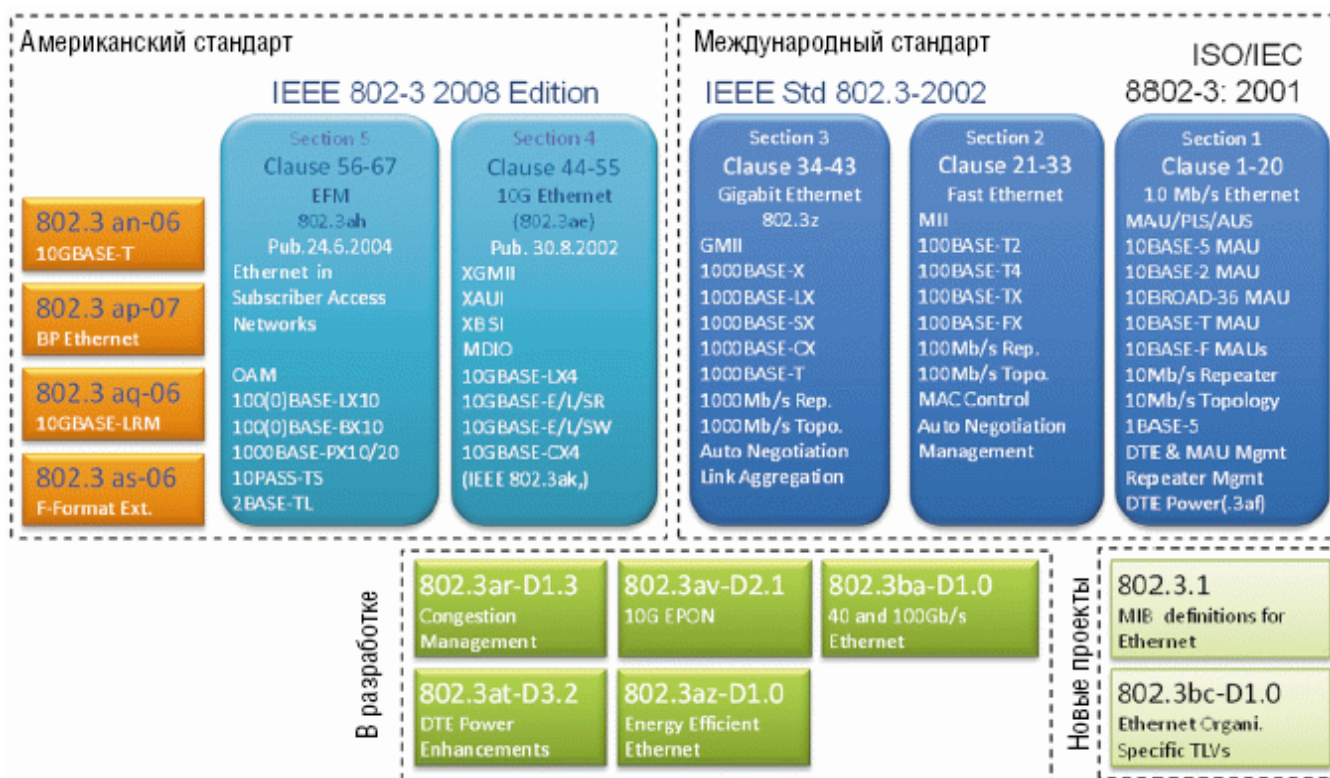


Рисунок 1.11 - IEEE 802.3 – Ethernet: стандарты и рабочие группы.

На момент анализа стандартов и сбора статистики, в разработке находились несколько стандартов:

- *802.3ba* - *40/100 Gigabit Ethernet* с поддержкой оптического волокна, меди и объединительных плат (Backplane).
- *802.3av* - *10GEPON* оптическое волокно на последней миле.
- *802.3at* - питание с мощностью 30 Вт по Ethernet.
- *802.3az* - актуальные вопросы экономии электроэнергии.

В *IEEE* создан комитет по разработке стандарта *400-Gigabit Ethernet*.

В связи со стремительным ростом потребностей в пропускной способности в Институте инженеров электротехники и электроники в 2013 году был сформирован и успешно функционирует исследовательский комитет по разработке стандарта *400-Gigabit Ethernet*. По оценкам IEEE, необходимо обеспечивать среднегодовой рост пропускной способности на уровне 58% в связи с увеличением числа пользователей, появлением новых методов доступа, а также ростом применения видео по требованию, социальных СМИ и других трафикоемких сервисов ежегодно в мире.

При сохранении указанных комитетом тенденций, сети должны будут обеспечить пропускную способность к 2020-2021 годам около — **10 Тбит/с**, а в *Cisco* ожидают, что только мобильный трафик вырастет за предстоящие четыре года в 13 раз, и к концу 25-х нашего столетия будет втрое-четверо превышать объемы передачи данных по кабелю.

В *IEEE* успешно работают и улучшают *400-Gigabit Ethernet*, хотя оборудование *100-Gigabit Ethernet* давно начало поставляться на рынок – требуется постоянная его доводка и совершенствование.

Первая встреча комитета IEEE 802.3 400 Gb/s Ethernet Study Group прошла еще в мае 2013 года в Канаде, семь лет назад. Далее, в ходе мероприятия OFC в 2016г. международный консорциум Ethernet Alliance, занимающийся развитием и продвижением технологий Ethernet, представил план развития Ethernet. Основные моменты плана — повышение скорости, появление новых модулей и интерфейсов, развитие Power over Ethernet (PoE) и внедрение технологий FlexEthernet (FlexE), предложенных Optical Networking Forum (OIF)(Рис 1.12), что мы и наблюдаем в настоящее время. Перечень основных типов и стандартов Ethernet IEEE 802.3 приведен в Приложении 2.



Рисунок 1.12 – Развитие сети Ethernet



## 2. ГЛОБАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ PDH, SDH, DWDM

Первичные, или транспортные, сети (*transmission networks*) — это телекоммуникационные сети особого вида, предназначенные для создания постоянных глобальных высокоскоростных каналов, которые затем используются для построения других сетей, телефонных или компьютерных. Отличие первичных сетей от других телекоммуникационных сетей состоит в том, что они не работают с терминальными устройствами конечных пользователей. Вместо этого каналы первичных сетей соединяют коммутационные устройства других сетей, а уже те, в свою очередь, обслуживают терминалы конечных пользователей. По отношению к первичным сетям телефонные и компьютерные сети являются вторичными, или наложенными (*overlay*), сетями.

Архитектура первичной сети соответствует обобщенной архитектуре телекоммуникационной сети, то есть состоит из кабельных линий связи и коммутаторов. В первичных сетях используется техника коммутации каналов, поэтому их каналы обладают *фиксированной пропускной способностью*. Особенностью коммутаторов первичных сетей является то, что они коммутируют каналы *не динамически* по запросам пользовательских устройств, как это происходит в телефонных сетях, а *статически* по командам оператора сети.

Поэтому, для двух коммутаторов наложенной сети соединяющий их составной канал первичной сети представляется простым постоянным кабельным соединением. Коммутаторы наложенной сети «не видят» расположенных между ними коммутаторов первичной сети. В этих случаях говорят, что первичная сеть *прозрачна* для работающей через ее каналы наложенной сети. На рисунке 2.1 показан фрагмент наложенной сети с коммутацией пакетов (верхняя плоскость), три маршрутизатора которой соединены через первичную сеть (нижняя плоскость).

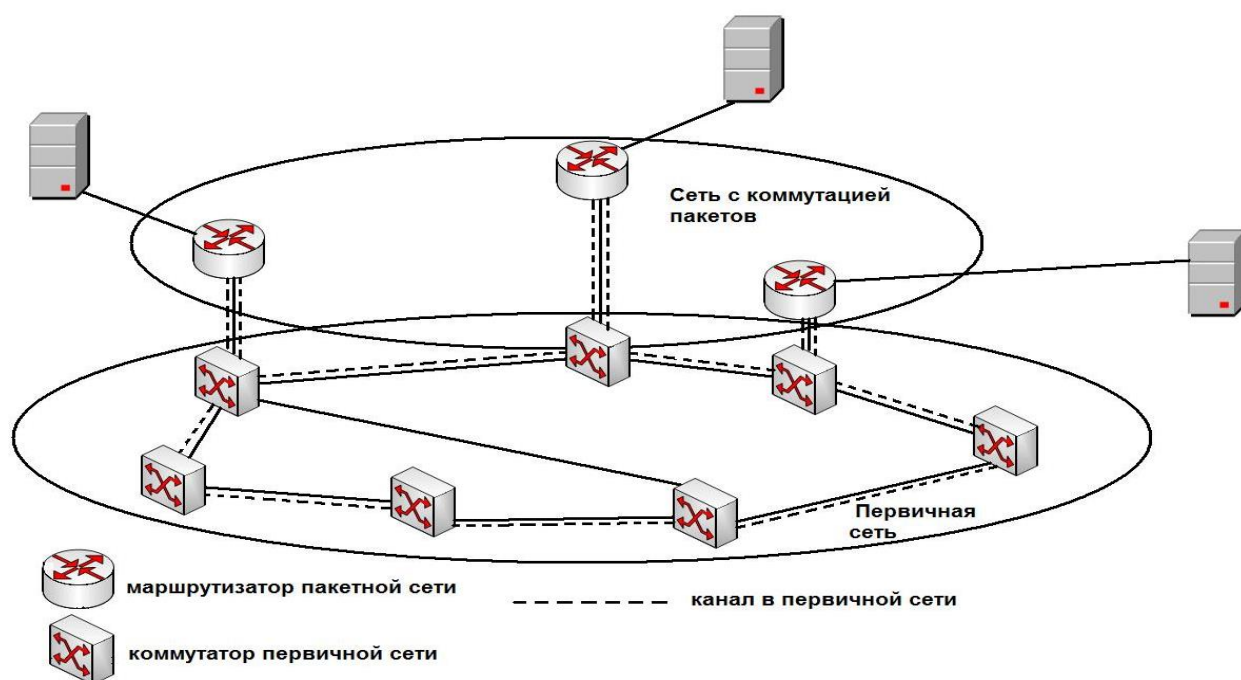


Рисунок 2.1. - Соединение маршрутизаторов через первичную сеть

Обычно, *один кабель* первичной сети позволяет за счет мультиплексирования передавать трафик *нескольких сотен* магистральных каналов компьютерных или телефонных сетей.

Существует несколько технологий, используемых для создания первичных сетей, которые последовательно на временном интервале их развития заменяли друг друга:

- плезиохронная цифровая иерархия (*PDH*);
- синхронная цифровая иерархия (*SDH / SONET*);
- уплотненное волновое мультиплексирование (*DWDM*);
- оптические транспортные сети (*OTN*).

## 2.1. Сети *PDH*

Технология плезиохронной цифровой иерархии *PDH* (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) разработана в конце 60-х годов компанией *AT&T* для связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой.

Применяемые до появления *PDH* аналоговые линии связи с частотным мультиплексированием исчерпали свои возможности по организации высокоскоростной и высококачественной многоканальной связи по одному кабелю. Переход на технологию *PDH* стал началом новой эпохи в телекоммуникационных и телефонных сетях — эпохи *цифровых* коммуникаций. Для конечных абонентов появление и внедрение данной технологии бесценно — оно гарантировало высокое качество звука, которое не ухудшалось по мере прохождения промежуточных коммутаторов, как это было в аналоговых сетях. Для операторов технология плезиохронной цифровой иерархии *PDH* принесла более гибкие средства создания надежных каналов с широким диапазоном скоростей, от единиц до сотен мегабитов в секунду.

Начало технологии *PDH* было положено разработкой мультиплексора *T-1*, который позволял в цифровом виде мультиплексировать, передавать и коммутировать на постоянной основе голосовой трафик 24 абонентов. Так как абоненты по-прежнему пользовались обычными телефонными аппаратами, и, исходная передача голоса шла в аналоговой форме, то мультиплексоры *T-1* осуществляли оцифровывание голоса с частотой **8000 Гц**, создавая абонентские элементарные цифровые каналы со скоростью передачи данных **64 Кбит/с**. В оборудовании *T-1* используется техника синхронного временного мультиплексирования.

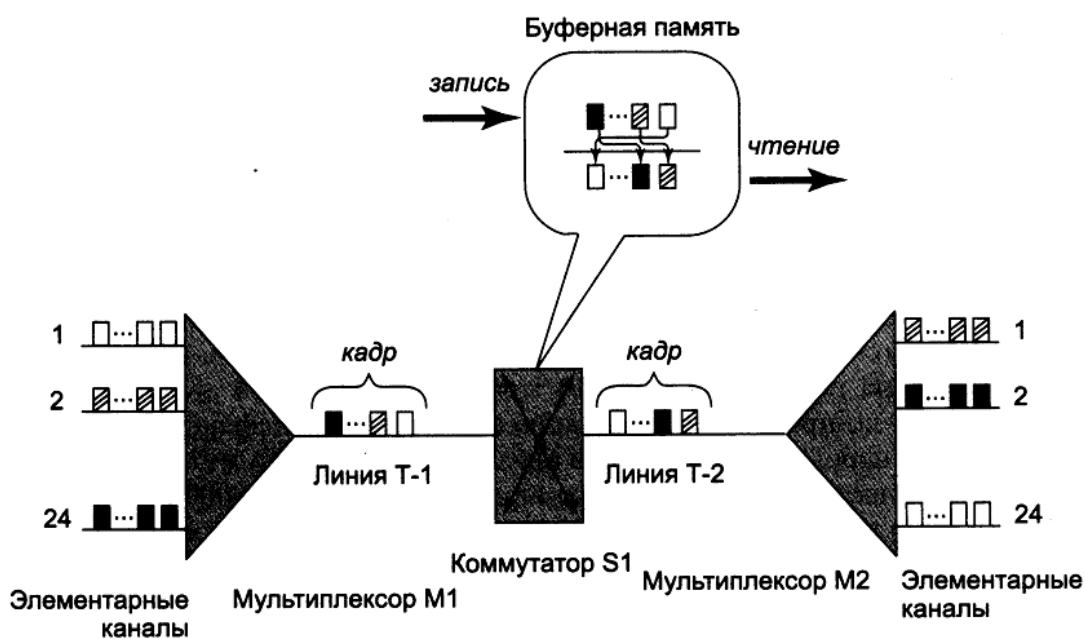
Принцип временного мультиплексирования *TDM* (*Time Division Multiplexing*) заключается в выделении канала каждому соединению на определенный период времени; данный принцип используется во многих технологиях. Имеется два типа временного мультиплексирования — асинхронный и синхронный.

Асинхронный режим *TDM* применяется в сетях с *коммутацией пакетов*. Каждый пакет занимает канал определенное время, необходимое для его передачи. Между различными информационными потоками нет синхронизации, каждый пользователь пытается занять канал тогда, когда у него возникает потребность в передаче информации.

Синхронный режим *TDM* находит применение в сетях с коммутацией каналов. В этом случае, доступ всех информационных потоков к каналу синхронизирован таким образом, чтобы каждый информационный поток периодически получал канал в свое распоряжение на фиксированный промежуток времени.

Синхронизация оборудования *TDM* позволяет использовать временное положение кадра в цикле работы оборудования в качестве его адреса назначения – данное положение является принципиальным отличием сетей *TDM* от сетей с коммутацией пакетов, где адрес назначения в кадре необходимо указывать явно. Работу оборудования *T-1* на основе этой техники иллюстрирует рисунок 2.2, на котором показан фрагмент сети, состоящий из двух мультиплексоров (*M1* и *M2*) и одного коммутатора *S1* (называемого также *кросс-коннектором*).

Аппаратура сетей *TDM* (мультиплексоры и коммутаторы) — работает в режиме разделения времени, поочередно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы. Цикл равен **125мкс**, что соответствует периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале. Это значит, что мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети. Каждому соединению выделяется один квант времени цикла работы аппаратуры, называемый также *тайм-слотом*. Его длительность зависит от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором или коммутатором.



**Рисунок 2.2. - Принцип мультиплексирования волн различной длины в одном волокне**

В сети (рисунок 2.2) путем коммутации создано 24 канала, каждый из которых связывает пару абонентов. В частности, абонент, подключенный к входному каналу 1, связан с абонентом, подключенным к выходному каналу 24, абонент входного канала 2 связан абонентом выходного канала 1, аналогично сккоммутированы между собой абоненты входного канала 24 и выходного канала 2.

Мультиплексор *M1* принимает информацию от абонентов по входным каналам, каждый из которых передает данные со скоростью 1 байт каждые 125 мкс (64 Кбит/с).

Каждый цикл заставляет мультиплексор *M1* выполнять следующую работу:

1. Принять от каждого канала байт текущих данных.
2. Произвести генерацию кадра из принятых байтов.
3. Передать кадр на выходной канал с битовой скоростью около 1,5 Мбит/с (24 входных канала по 64 Кбит/с каждый).

Порядок следования байта в кадре соответствует номеру входного канала, от которого этот байт получен. Коммутатор *S1* принимает кадр по скоростному каналу от мультиплексора и записывает каждый байт из него в отдельную ячейку своей буферной памяти. Порядок, в котором были упакованы байты в уплотненный кадр, сохраняется, что очень удобно. Для выполнения операции коммутации байты извлекаются из буферной памяти не в порядке поступления, а в том порядке, который соответствует поддерживаемым в сети соединениям абонентов. В рассматриваемом примере коммутатор *S1* коммутирует входные каналы 1, 2 и 24 с выходными каналами 24, 1 и 2 соответственно. Для выполнения этой операции первым из буферной памяти должен быть извлечен байт 2, вторым — байт 24, а последним — байт 1.

«Перемешивая» нужным образом байты в кадре, коммутатор обеспечивает требуемое соединение абонентов в сети. Мультиплексор *M2* решает обратную задачу — он разбирает байты кадра и распределяет их по своим нескольким выходным каналам, при этом он также считает, что порядковый номер байта в кадре соответствует номеру выходного канала.

Нарушение синхронности разрушает требуемую коммутацию абонентов, т.к. при этом изменяется относительное положение слота, а значит, теряется адресная информация. Поэтому оперативное перераспределение тайм-слотов между различными каналами в оборудовании *TDM* невозможно. Даже если в каком-то цикле работы мультиплексора тайм-слот одного из каналов оказывается избыточным, поскольку на входе этого канала в данный момент нет данных для передачи (например, абонент телефонной сети молчит), то он будет передан пустым.

В общем случае сети *TDM* могут поддерживать либо режим динамической коммутации, либо режим постоянной коммутации, а, когда требуется, и оба эти режима вместе. Цифровые телефонные сети поддерживают динамическую коммутацию по инициативе абонентов сети. Основным режимом сетей *PDH* является постоянная коммутация. Как правило, конфигурирование соединений *PDH* выполняется с помощью системы управления автоматически, в небольших сетях это делается операторами.

В целях дальнейшего развития данных технологий, была введена иерархия скоростей. Для соединения крупных телефонных станций каналы Т-1 представляли собой слабые и негибкие средства мультиплексирования, поэтому и возникла необходимость реализации каналов с *иерархией скоростей*:

– Четыре канала типа Т-1 объединили в канал следующего уровня цифровой иерархии Т-2, передающий со скоростью **6,312 Мбит/с**.

– Канал T-3, образованный путем объединения семи каналов T-2, занял вторую ступень иерархии и имеет скорость **44,736 Мбит/с**.

– Канал T-4 объединяет 6 каналов T-3 и его скорость равна **274Мбит/с**.

Эта технология названа системой T-каналов. Технология систем T-каналов стандартизована Американским национальным институтом стандартов *ANSI (American National Standard Institute)* и получила название *PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)*.

В ходе стандартизации возникла несовместимость американской и международной версий стандарта *PDH*. Аналогом системы T-каналов в международном стандарте являются каналы типа *E-1, E-2* и *E-3* с отличающимися скоростями — **2,048, 8,488** и **34,368 Мбит/с** соответственно.

**Таблица 2.1 – Иерархия цифровых скоростей PDH**

Обозначение скорости	Америка			ССИТ (Европа)		
	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость, Мбит/с	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость, Мбит/с
<b>DS-0</b>	1	1	<b>0,064</b>	1	1	<b>0,064</b>
<b>DS-1</b>	24 T1	24	<b>1,544</b>	30 E1	30	<b>2,048</b>
<b>DS-2</b>	96 T2	4	<b>6,312</b>	120 E2	4	<b>8,488</b>
<b>DS-3</b>	672 T3	7	<b>44,736</b>	480 E3	4	<b>34,368</b>
<b>DS-4</b>	4032 T4	6	<b>274,176</b>	1920 E4	4	<b>139,264</b>

## **2.2. Сети SONET/SDH**

Практика выявила несколько недостатков технологии *PDH*.

1. *Сложность и неэффективность операций мультиплексирования и демultipлексирования*, когда для ответвления канала *E-1* из *E-3* его сначала необходимо демultipлексировать на каналы *E-2* и лишь потом определенный канал *E-2* демultipлексировать на каналы *E-1*.

2. *Отсутствие средств обеспечения отказоустойчивости*, т.е. не поддерживаются процедуры автоматического переключения на резервный канал в случае выхода основного из строя.

3. *Недостаточная производительность*.

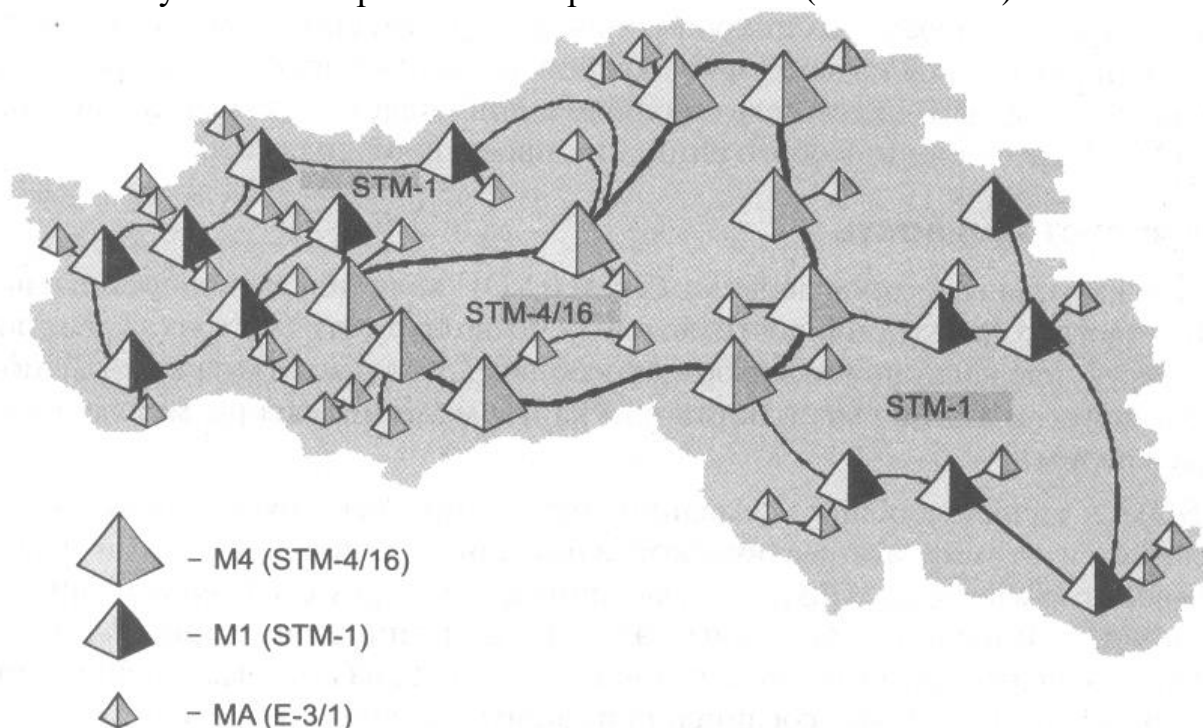
Учитывая данные недостатки, разработчики предложили следующую, более прогрессивную технологию **синхронных оптических сетей SONET (Synchronous Optical NET)**. Эта технология была стандартизирована институтом *ANSI*, а позже прошел стандартизацию международный вариант технологии, который получил название синхронной цифровой иерархии *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)*.

Стандарт *SONET* был доработан так, чтобы аппаратура и сети *SDH* и *SONET* являлись совместимыми.

В стандарте *SDH* все уровни скоростей (и форматы кадров для этих уровней) имеют общее название синхронный транспортный модуль уровня N (*Synchronous Transport Module level N, STM-N*). Начальная скорость *STM-1* равна **155 Мбит/с**. Оборудование *SDH* поддерживает коэффициент кратности скоростей равный 4, то есть скорости *STM-4*, *STM-16*, *STM-64* и *STM-256* (**40 Гбит/с**). Оборудование сетей *SDH/SONET* состоит из мультиплексов и кросс-коннекторов. Для доступа к сетям *SDH* обычно используют сети *PDH*.

В состав сети *SDH* (рисунок 2.3) входят:

- магистральные кросс-коннекторы *M4*, работающие на скорости *STM-4* и *STM-16* (**622 Мбит/с** и **2,5 Гбит/с**),
- мультиплексы *M1* со скоростью *STM-1* (**155 Мбит/с**).



**Рисунок 2.3. - Сеть SDH с сетями доступа PDH**

Сети доступа образованы мультиплексами *MA* технологии *PDH*, работающими на скоростях *E-3* (**34 Мбит/с**) и *E-1* (**2 Мбит/с**). Схема мультиплексирования *SDH* очень гибкая: она позволяет извлечь из потока данных высокого уровня иерархии - скорости потоков более низких уровней иерархии, работающих на меньших скоростях, без последовательного демультиплексирования высокоскоростного потока на его составляющие. Например, из потока *STM-16* можно непосредственно ответвить поток *STM-1*. Техника мультиплексирования *SDH* основана на использовании так называемых *виртуальных контейнеров VC (Virtual Container)* разного уровня скорости, которые инкапсулируются друг в друга. Мультиплексы *SDH* также называют *мультиплексами ввода-вывода ADM (Add-Drop Multiplexers)*.

Интересна синхронизация в *SDH*. Мультиплексам для работы нужна точная взаимная синхронизация. Для магистральных мультиплексов сети она

обеспечивается внешними эталонными атомными часами. Мультиплексоры SDH более низких уровней иерархии извлекают синхросигналы из заголовков кадров, поступающих от магистральных мультиплексоров.

Одна из сильных сторон *SDH* - набор средств отказоустойчивости, который позволяет сети быстро (за десятки миллисекунд) восстановить работоспособность в случае отказа какого-либо ее элемента — линии связи, порта или карты мультиплексора, мультиплексора в целом. В *SDH* в качестве названия механизмов отказоустойчивости используется термин автоматическое защитное переключение *APS (Automatic Protection Switching)*, отражающий факт перехода (переключения) на резервный путь или элемент мультиплексора при отказе основного. Есть несколько типов защиты *APS*. Наиболее популярны: защита сетевого соединения и защита на основе разделения кольца.

Защита сетевого соединения основана на установлении в сети произвольной топологии двух соединений между конечными точками: рабочего и резервного. Трафик передается параллельно по этим соединениям, и точка приема выбирает, трафик от какого соединения она считает основным. Выбор осуществляется на основании информации о качестве сигнала, передаваемой в кадрах *SDH*. В случае отказа рабочего соединения точка приема переходит на прием информации от резервного канала, переход осуществляется очень быстро, обычно в пределах **50мс**. Недостатком этого способа является его избыточность, так как фактически вместо одного канала в сети работает два.

Защита на основе разделения кольца более экономична, она пытается направить информацию в обратном направлении, если какая-либо секция кольца отказывает. Это очень экономично при реализации защиты соединений.

Техника корректировки ошибок *FEC (Forward Error Control)* обычно используется мультиплексорами *SDH* на скоростях **2,5 Гбит/с** и выше. Она основана на применении самокорректирующих кодов, позволяющих исправлять искажения битов данных «на лету», не прибегая к повторной передаче, а используя избыточную часть кода. Эта техника существенно повышает эффективную скорость передачи данных при наличии помех или сбоев в работе приемопередатчиков.

**Таблица 2.2 – Иерархия скоростей SDH / SONET**

SDH (междунар.)	SONET (америк.)	Скорость
	STS-1, OC-1	<b>51,84 Мбит/с</b>
STM-1	STS-3, OC-3	<b>155,52 Мбит/с</b>
STM-3	OC-9	<b>466,56 Мбит/с</b>
STM-4	OC-12	<b>622,08 Мбит/с</b>
STM-6	OC-18	<b>933,12 Мбит/с</b>
STM-8	OC-24	<b>1 244 Мбит/с</b>

STM-12	OC-36	1 866 Мбит/с
STM-16	OC-48	2 488 Мбит/с
STM-64	OC-192	9 953 Мбит/с
STM-256	OC-768	39 810 Мбит/с

### 2.3. *Cemu DWDM (Dense Wave Division Multiplexing)*

Технология плотного волнового мультиплексирования (*Dense Wave Division Multiplexing, DWDM*) - технология, при которой в одном оптическом волокне осуществляется передача нескольких оптических сигналов с различными длинами волн. Суть технологии спектрального, или оптического уплотнения, заключается в возможности организации множества отдельных клиентских сигналов (*SDH, Data*) по одному волокну, а, следовательно, многократном увеличении пропускной способности линии связи.

Принципиальная схема работы DWDM заключается в следующем. В целях организации в одном волокне нескольких оптических каналов, для каждого клиентского сигнала изменяют оптическую длину волны при помощи транспондера. Затем, при помощи мультиплексора сигналы смешиваются и передаются в оптическую линию.

В конечном пункте происходит обратная операция – при помощи демультиплексора пришедшие сигналы выделяются из группового сигнала, меняют длину волны на стандартную, и передаются потребителю.

По мере прохождения по оптическому волокну сигнал постепенно затухает. Для его усиления используются *оптические усилители*.

Особенности и достоинства технологии DWDM – это наиболее масштабный и рентабельный способ, позволяющий в сотни раз расширить полосы пропускания волоконно-оптических каналов. Пропускную способность оптических линий на основе систем *DWDM* можно наращивать, постепенно добавляя по мере развития сети в уже существующее оборудование новые оптические каналы путем добавления транспондеров.

Технология *DWDM* – это не только средство повышения пропускной способности оптического волокна, а и наиболее надежная технология для первичной инфраструктуры мультисервисных и мобильных сетей, обеспечивающая резкое повышение пропускной способности сети и реализующая широкий набор принципиально новых услуг связи. *DWDM* — это быстроразвивающаяся технология, позволяющая повысить емкость волокна с 8 до 64 и более оптических каналов (длин волн) с расстоянием между каналами 0,4, 0,8, 1,6, 3,2нм.

На практике для сетевого оператора важнее не количество оптических каналов, а общая пропускная способность волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) и возможность наращивания пропускной способности ВОЛС по мере роста требований рынка. Возможностью *DWDM*-технологии является существенное увеличение пропускной способности без замены электронного оборудования и оптического кабеля. При добавлении новых каналов на новые длины волн не



затрагиваются существующие, а пропускная способность сети увеличивается в сотни раз. Каналы могут иметь различные протоколы и скорости передачи, и нет необходимости синхронизировать их между собой.

К каждому каналу применима технология *TDM*, что даёт возможность более гибко распределять полосу пропускания между пользователями. Многие национальные и международные операторы уже давно признали, что *DWDM*-технология – это оптимальное решение для передачи мощных информационных потоков на большие расстояния. Оборудование на основе технологии *DWDM* применяется не только для создания новых волоконно–оптических сетей, но и для модернизации и расширения существующих сетей в целях повышения их пропускной способности и доступности.

Быстрая окупаемость средств, вложенных операторами в ее внедрение и получение прибыли – ещё одно из достоинств технологии *DWDM*. Операторам нет необходимости прокладывать новые линии, что также связано с дополнительными расходами и проблемами.

Затраты на приобретение оборудования, необходимого для реализации *DWDM* (оконечные оптические волновые передатчики, усилители, фильтры, аппаратура управления сетью), в конечном итоге, оказываются несоизмеримо меньшими, чем затраты, необходимые для развертывания новой сети.

Технология уплотненного волнового мультиплексирования *DWDM* предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях.

Такой скачок производительности обеспечивается принципиально иным методом мультиплексирования — информация в оптическом волокне передается одновременно большим количеством световых волн. Сети *DWDM* работают по принципу коммутации каналов, при этом каждая световая волна представляет собой отдельный спектральный канал и переносит отдельный поток данных.

На рисунке 2.4 показан пример мультиплексирования двух волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  мультиплексорами *DWDM*.

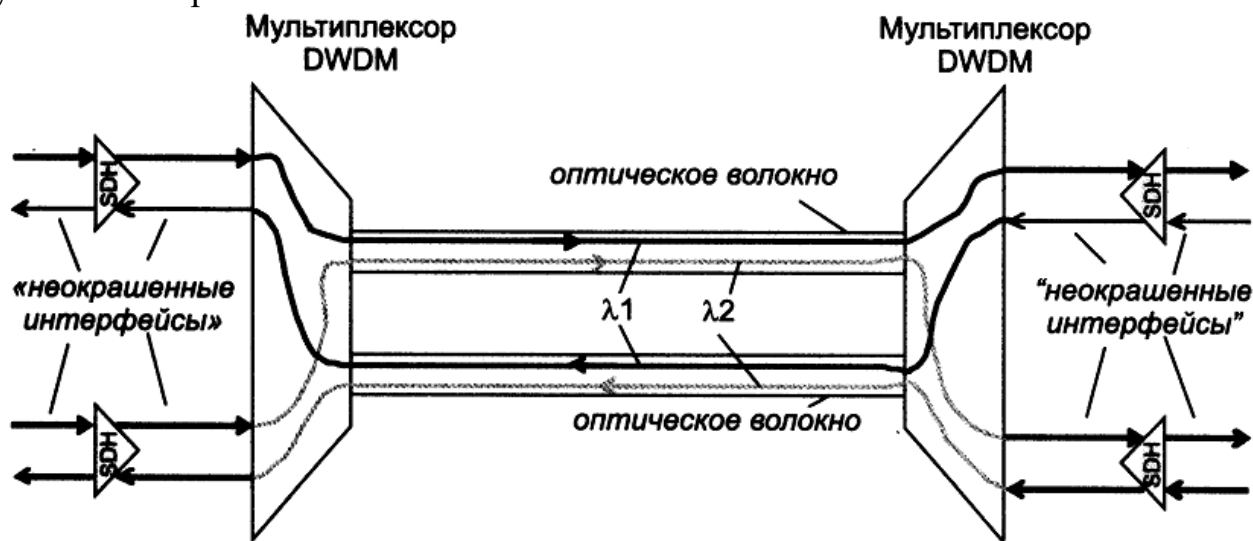


Рисунок 2.4. - Принцип мультиплексирования волн различной длины в одном волокне

Каждый из мультиплексов *DWDM* принимает «неокрашенные» сигналы, т.е. оптические сигналы одной из длин волн: 850, 1300 или 1550 нм. Затем мультиплексы *DWDM* преобразуют принятые сигналы в волны определенной длины для каждого их интерфейсов —  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , и в этой форме они передаются по одному и тому же волокну, не интерферируя и не искажая информацию, передаваемую каждой волной. Принимающий мультиплексор *DWDM* выполняет демультимплексирование волн из общего сигнала, преобразуя каждую волну в «неокрашенную», которую понимают интерфейсы мультиплексов *SDH*.

Оборудование *DWDM* не занимается непосредственно проблемами передачи данных на каждой волне, то есть способом кодирования информации и протоколом ее передачи. Его основными функциями являются операции *мультиплексирования* и *демультиплексирования*, то есть объединение различных волн в одном световом пучке и выделение информации каждого спектрального канала из общего сигнала. Наиболее развитые устройства *DWDM* могут также *коммутировать* волны.

Оборудование *DWDM* позволяет передавать по одному оптическому волокну более **32** волн в окне **1550нм** со скоростью до **10 Гбит/с** каждая. На сегодняшний день повышение скорости на одной волне до 40-100 Гбит/с уже стало реальностью.

В оборудовании *DWDM* первых поколений в качестве интерфейсов доступа обычно использовались интерфейсы стандарта *SDH*. Это приводило к тому, что, несмотря на принципиальную возможность передавать дискретные данные любой технологии, оборудование *DWDM* передавало данные кадрами *SDH*. При необходимости же передать данные стандарта *Gigabit Ethernet*, нужно было предварительно упаковать их в кадры *SDH*, а потом уже передавать по сети *DWDM*. При таком подходе пропускная способность волновых каналов *DWDM* расходовалась не очень эффективно, к тому же стоимость интерфейсов *SDH* определялась как не малая.

#### 2.4. *Cemu OTN (Optical Transport Networks)*

Чтобы справиться с указанной в оборудовании *DWDM* проблемой, была разработана технология *оптических транспортных сетей OTN*, ориентированная на магистральные сети. Она поддерживает только верхний диапазон скоростей, оставляя мультиплексирование низкоскоростных потоков технологии *SDH (Ethernet)*.

В сетях *OTN* поддерживается три формата кадра, соответствующих следующей иерархии скоростей:

- *OTU1 (2,7Гбит/с)*;
- *OTU2 (10,7Гбит/с)*;
- *OTU3 (43Гбит/с)*,

то есть *OTN* обеспечивает мультиплексирование с коэффициентом **4**. Каждый кадр более высокого уровня иерархии состоит из четырех кадров более низкого уровня.

Форматы кадров *OTN* позволяют размещать в своем поле данных кадры практически любой современной технологии передачи данных: *SDH, Ethernet, Fibre Channel*. В этом состоит одно из отличий *OTN* от *SDH*, ориентированной на

перенос телефонных трафиков и имеющей линейку скоростей, кратную 64 Кбит/с. Другим достоинством *OTN* является относительная простота схем мультиплексирования, которая объясняется наличием всего трех уровней в ее линейке скоростей.

В *OTN* также выполняется процедура корректировки ошибок *FEC*, но самокорректирующийся код, используемый в *OTN*, эффективнее *SDH*.

## 3. MPLS-ТЕХНОЛОГИЯ

### 3.1. Основные принципы MPLS-технологии

Технология *MPLS* (*MultProtocol Label Switching*) определяется как многопротокольная коммутация на основе меток и объединяет два способа передачи пакетов: дейтаграммный и «виртуальный канал».

В основе *MPLS*-технологии лежит технология *IP*-коммутации (*IP-Switching*), предложенная в середине 90-х годов компанией *IPSILON*. Данная компания разработала комбинированное устройство *IP/ATM* (*ATM*-коммутатор со встроенными блоками *IP*-маршрутизации). Это устройство было предназначено для уменьшения задержек при передаче кратковременных потоков данных за счёт отказа от предварительной процедуры генерации виртуального канала. Для этого *IP*-пакет кратковременного потока разбивался устройством на *ATM*-ячейки, которые передавались от одного устройства к другому. В то же время, долговременные потоки передавались традиционным для *ATM*-технологии способом – с предварительным установлением виртуального канала.

Дальнейшие усовершенствования *IP*-коммутации привели в конце 90-х годов прошлого века к созданию технологии *MPLS*, объединяющей достоинства техники виртуальных каналов и стека протоколов *TCP/IP* за счёт применения специального сетевого устройства - *коммутирующего по меткам маршрутизатора LSR* (*Label Switch Router*), выполняющего функции *IP*-маршрутизатора и коммутатора виртуальных каналов.

### 3.2. Маршрутизатор LSR и таблица продвижения

Как уже отмечено выше, технология *MPLS* опирается на принцип передачи пакетов на основе меток.

Любой передаваемый пакет ассоциируется с тем или иным классом сетевого уровня *FEC* (*Forwarding Equivalence Class*), каждый из которых идентифицируется определенной меткой.

Значение метки уникально лишь для участка пути между соседними узлами сети *MPLS*, которыми являются *LSR*. Метка передается в составе любого пакета, причем способ ее привязки к пакету зависит от используемой технологии канального уровня.

*LSR* получает топологическую информацию о сети, участвуя в работе алгоритма маршрутизации (*OSPF*, *BGP*, *IS-IS*). Затем он начинает взаимодействовать с соседними *LSR*, распределяя метки, которые в дальнейшем будут применяться для коммутации. Обмен метками может производиться с помощью как специального *протокола распределения меток LDP* (*Label Distribution Protocol*), так и модифицированных версий протоколов сигнализации в сети (например, видоизмененных протоколов маршрутизации, резервирования ресурсов *RSVP* и других протоколов).

Распределение меток между *LSR* приводит к установлению внутри домена *MPLS* путей с коммутацией по меткам *LSP* (*Label Switching Path*),

которые хранятся в каждом маршрутизаторе *LSR* в виде таблицы продвижения (Рис. 3.1).

Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп(порт)	Действие
I1	121	I2	211
I2	164	I3	274

Рисунок 3.1. – Пример таблицы продвижения

Таблица продвижения содержит следующие столбцы:

- **входной интерфейс** – интерфейс (порт), по которому пакет поступил в *LSR*;
- **метка** – **идентификатор (метка)**, который идентифицирует принадлежность поступившего пакета к конкретному трафику;
- **следующий хоп – интерфейс (порт)**, в который должен быть направлен пакет;
- **действие** – **указатель**, определяющий, какое действие должно быть применено к метке (заменить, удалить).

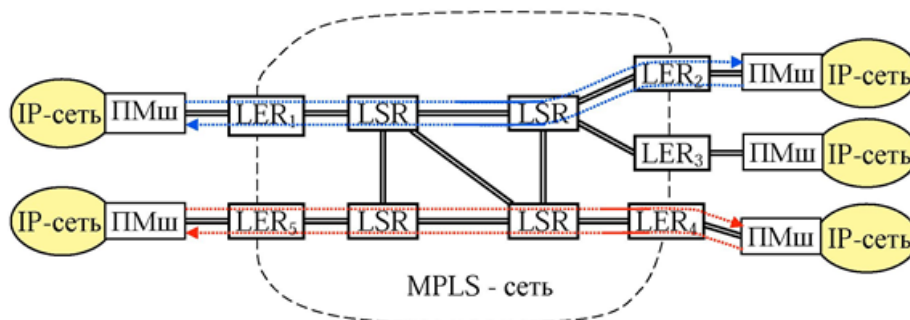
В поле «**Действие**» таблицы продвижения указываются основные операции с метками, такие как: «*Push*» - поместить метку в стек; «*Swap*» - заменить текущую метку новой; «*Pop*» - удаление верхней метки.

Получая пакет, *LSR* по номеру интерфейса, на который пришел пакет, и по значению привязанной к пакету метки определяет для него выходной интерфейс. Старое значение метки заменяется новым, содержащимся в поле «действие» таблицы, и пакет отправляется к следующему устройству на пути *LSP*.

Вся операция требует лишь одноразовой идентификации значений полей в одной строке таблицы. Это занимает гораздо меньше времени, чем сравнение *IP*-адреса отправителя с наиболее длинным адресным префиксом в таблице маршрутизации, что имеет место при традиционной маршрутизации.

На рисунке 3.2 показан пример *MPLS*-сети, находящейся в окружении *IP*-сетей. Каждая *IP*-сеть соединяется через *пограничный маршрутизатор* (ПМШ) с пограничным коммутирующим по меткам маршрутизатором *LER* (*Label switch Edge Routers*), который выполняет следующие функции:

- классификацию пакетов по различным классам эквивалентного продвижения (*FEC - Forwarding Equivalence Class*), имеющих один и тот же следующий порт;
- реализацию таких дополнительных сервисов, как фильтрация, явная маршрутизация, выравнивание нагрузки и управление трафиком.



**Рисунок 3.2 - Пример MPLS-сети**

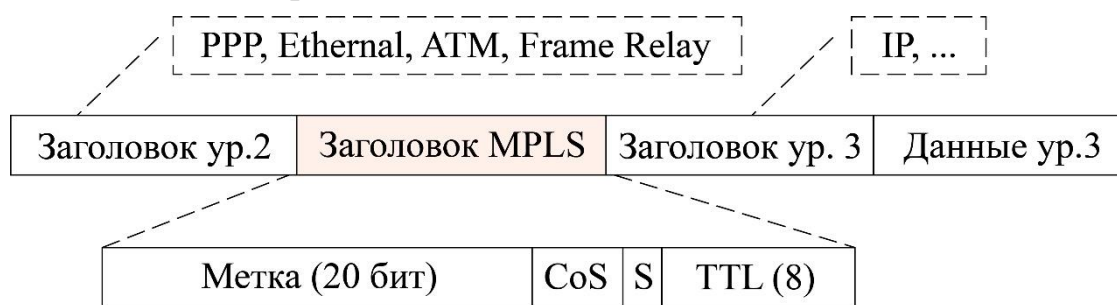
В результате интенсивные вычисления приходится на граничную область *MPLS*-сети, а высокопроизводительная коммутация выполняется в ядре, содержащем множество *LSR*.

### 3.3. Заголовок MPLS

Заголовок *MPLS* длиной 32 бита вставляется между заголовками 2-го и 3-го уровня OSI-модели, что подтверждает: *MPLS* - это технология уровня 2,5.

Заголовок *MPLS* содержит (Рис. 3.3) следующие поля:

- **метка** (20 бит), на основе которой осуществляется коммутация пакетов в *MPLS*-сети;
- **CoS** (*Class of Service*) – класс обслуживания (3 бита), указывающий класс трафика, требующего определённого показателя *QoS*;
- **S** – признак дна стека меток (1 бит), используемый для организации агрегированных путей *LSP* при прохождении пакетом через несколько *MPLS*-сетей;
- **TTL** (*Time To Live*) – время жизни пакета (8 бит), дублирующее аналогичное поле *IP*-пакета, что позволяет маршрутизаторам *LSR* отбрасывать пакеты с истекшим временем жизни.



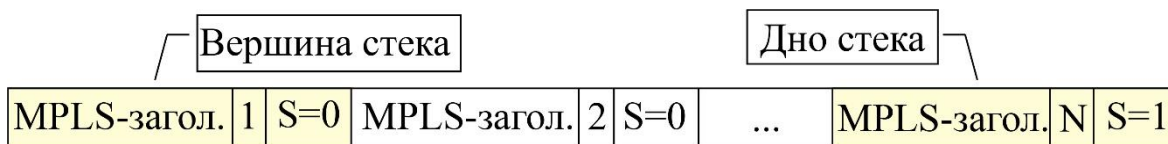
**Рисунок 3.3 – Фрагмент структуры заголовка MPLS**

### 3.4. Многоуровневая коммутация по меткам

Для создания системы агрегированных путей *LSP* с любым количеством уровней иерархии заголовок *MPLS*-кадра формируется в виде **стека меток**, включающего столько заголовков *MPLS*, сколько уровней иерархии содержит агрегированный путь (Рис. 3.4). При этом различают:

- **вершину стека**, над которым всегда выполняются действия, указанные в таблице продвижения;

- **дно стека**, признаком которого служит значение поля **S=1**.

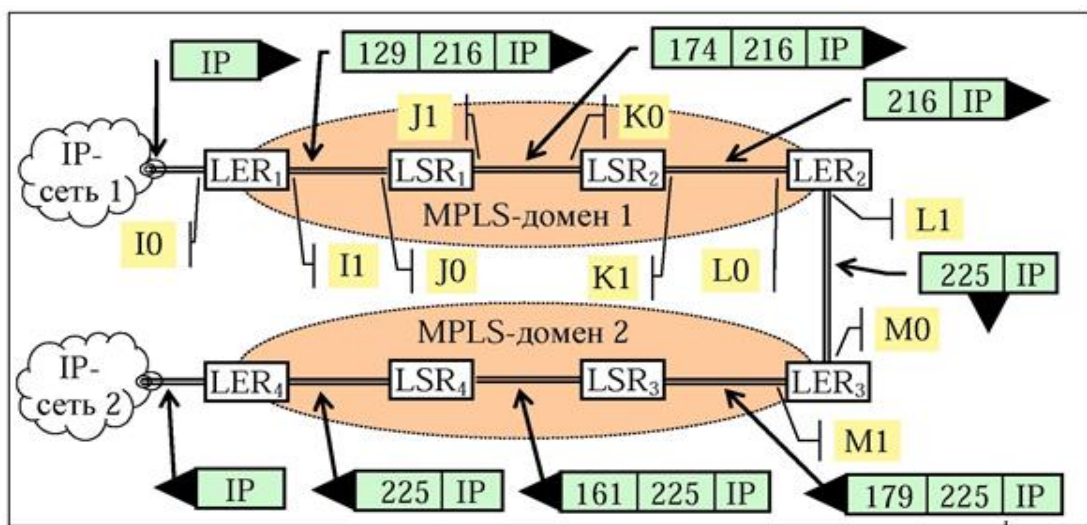


**Рисунок 3.4 – Фрагмент стека меток**

Организация стека меток необходима для организации *многоуровневой коммутации по меткам*, когда пакеты передаются не только внутри каждого *MPLS*-домена, но и между разными *MPLS*-доменами, обслуживаемых разными поставщиками услуг. С помощью стека меток может быть реализован механизм *туннелирования*.

Что касается механизма формирования многоуровневой коммутации с использованием стека меток, то на примере сети (Рис.3.5), этот процесс кратко можно представить следующим образом.

Положим, что на пути передачи **IP-пакета** из **IP-сети 1** в **IP-сеть 2** имеются два **MPLS-домена**, в каждом из которых пакет проходит через два пограничных маршрутизатора *LER* и два маршрутизатора *LSR*.



**Рисунок 3.5 - Пример сети с многоуровневой коммуникацией**

Далее строятся таблицы продвижения пакетов маршрутизаторов *LER1*, *LSR1*, *LSR2* и *LER2*. Соответствующие фрагменты таблиц продвижения пакетов этих маршрутизаторов для наглядности объединены в одну таблицу и представлены на рисунке 3.6.

Если проследить ход продвижения пакетов по сети, то эти действия будут следующими: IP-пакет из IP-сети 1 по интерфейсу *I0* попадает в пограничный маршрутизатор *LER1*, где в заголовок IP-пакета будет вставлен *MPLS*-заголовок. В соответствии с таблицей продвижения маршрутизатора

LER1, будет сформирован MPLS-заголовок, в поле метки которого будет установлено значение «216». Затем действие Push приведёт к формированию второго MPLS-заголовка, который станет вершиной стека, в поле метки которого будет установлено значение «129». Таким образом, появится стек из двух MPLS-заголовков (Рис. 4.4), причём во втором заголовке признак дна стека S будет установлен в 1. Далее этот пакет направляется на интерфейс П, через который он попадёт в маршрутизатор LSR1.

Маршрутизатор	Входной интерфейс	Метка	Следующий хоп(порт)	Действия
LER1	...			
	I0	–	I1	216 Push 129
	...			
LSR1	...			
	J0	129	J1	Swap 174
	...			
LSR2	...			
	K0	174	K1	Pop
	...			
LER2	...			
	L0	216	L1	Swap 225
	...			

Рисунок 4.6 – Таблица продвижения пакетов

В соответствии с таблицей продвижения *LSR1*, поступивший по интерфейсу *J0* пакет с меткой «129» должен быть направлен в выходной интерфейс *J1*, при этом метка «129», находящаяся в вершине стека, должна быть заменена на «174» (действие *Swap 174*). В маршрутизаторе *LSR2* будет удалена (действие *Pop*) верхняя метка «174», а в пограничном маршрутизаторе *LER2* метка «216» будет заменена на «225» (действие *Swap 225*). Далее, действия по продвижению пакета повторяются, и изменения *MPLS*-заголовка происходят аналогичным образом (Рис.3.5).



## 4. ГОРОДСКИЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ 4G – LTE

### 4.1. Тренды и перспективы 4G

Международный Союз Электросвязи (МСЭ), работая над стандартами нового поколения, объявил, что стандартом четвертого поколения может называться стандарт, обеспечивающий скорость передачи данных по линии «вниз» **не менее 1 Гб/с**. В этой связи, стандарт *LTE* называли стандартом *3,9G*, так как он не достигал объявленного значения, максимально достижимая скорость передачи данных в нем составляла **100 Мб/с**.

Истинным стандартом четвертого поколения МСЭ сначала признал исключительно стандарт *LTE-Advanced*, в котором достигалась максимальная скорость передачи данных в **1 Гбит/с**. Тем не менее, вскоре МСЭ поменял позицию, признав стандарт *LTE* стандартом четвертого поколения.

На рисунке 4.1 представлена эволюция сетей мобильной связи, на которой видно, что все технологии сходятся в одну точку, которой является технология *LTE*.

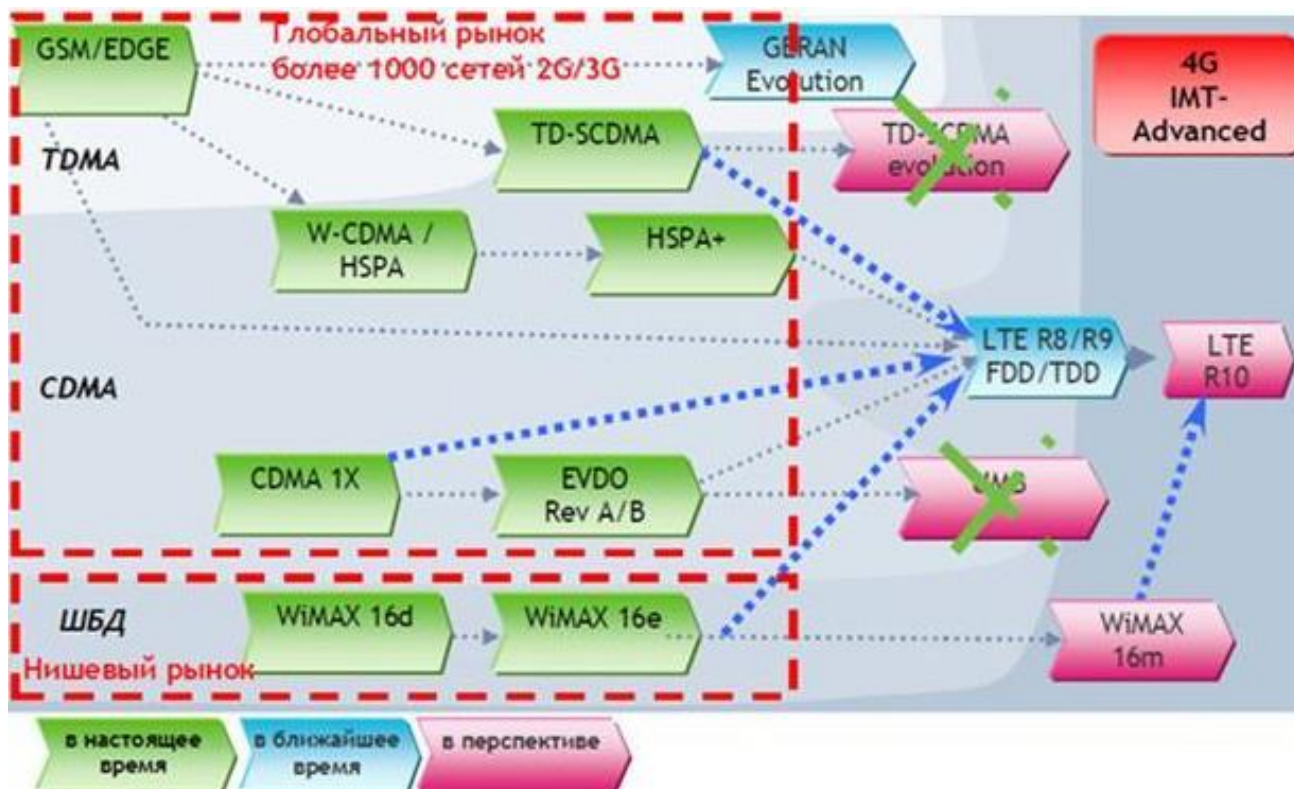
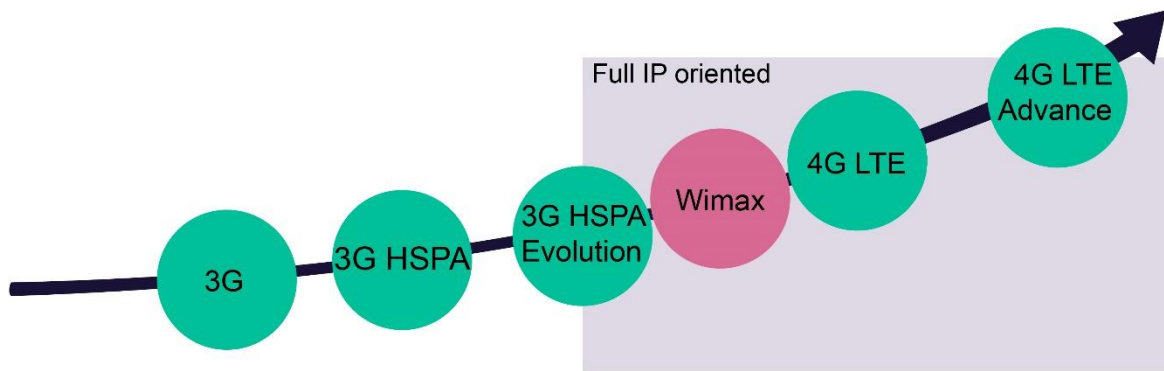


Рисунок 4.1 - Технологии сетей мобильной связи

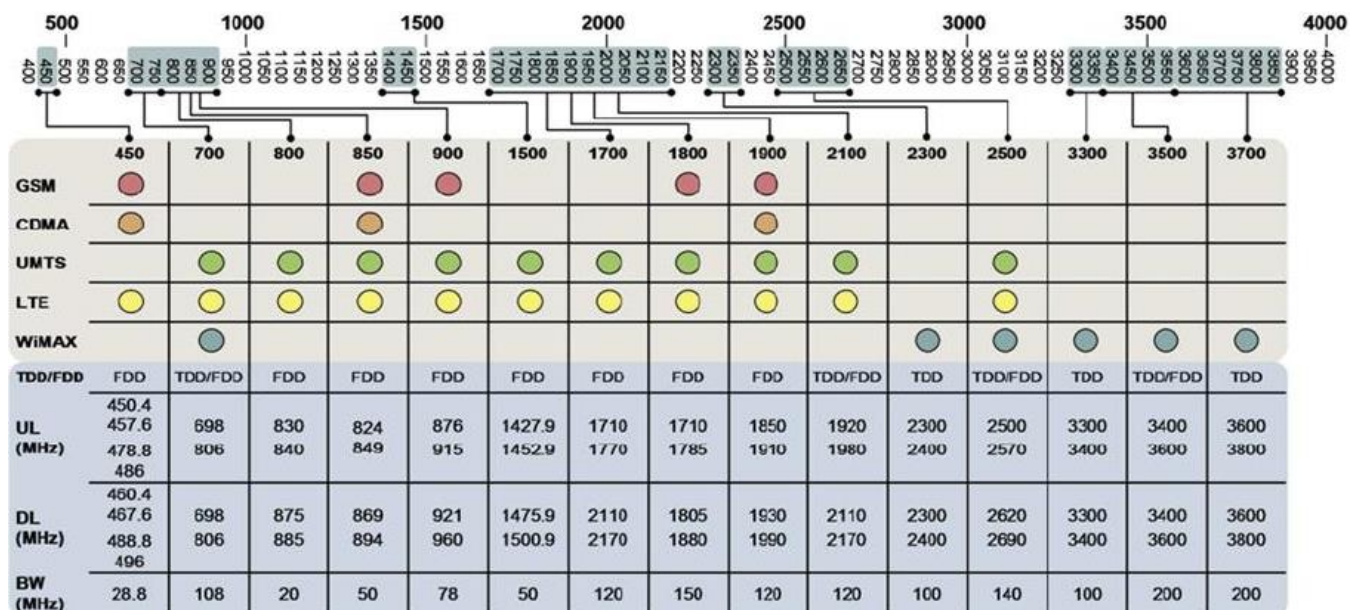
Типичные характеристики ряда поколений мобильных сетей 2003-2016 гг. представлены на рисунке 4.2.



Market impact	2003	2006	2009	2010	2016
Peak rate	384 kbps	7 Mbps	42 Mbps	~150 Mbps	~1 Gbps
Typical user rate downlink	~200 kbps	1-2 Mbps	2-10 Mbps	10-20 Mbps	~30-100 Mbps
Typical user rate uplink	64 kbps	64-884 Mbps	0.5-4.5 Mbps	5-10 Mbps	~10-60 Mbps

**Рисунок 4.2 - Характеристики мобильных сетей**

Глобальное распределение частотных ресурсов между технологиями приведено на рисунке 4.3.



**Рисунок 4.3 - Распределение частотных ресурсов**

Как видно из приведенных рисунков (Рис. 4.2-4.3), технология *LTE* способна обеспечить работу в гораздо большем количестве частотных диапазонов, чем другие технологии мобильной связи.

Диапазоны частот для *LTE* и *LTE-Advanced* представлены в Приложении 1.

## 4.2. FDD и TDD

Режимы *FDD* и *TDD* – это режимы передачи данных. Технология *LTE* поддерживает оба этих режима:

Режим *LTE - TDD* – это двухсторонняя связь с временным разделением сигнала. Связь осуществляется благодаря временному уплотнению каналов передачи и приема данных на одной несущей частоте. Благодаря такому режиму, достигается наиболее оптимальное перераспределение ресурсов линий радиосвязи. Но при этом выделяется разное количество временных интервалов в нисходящих (*download*) и восходящих (*upload*) каналах связи.

Режим *LTE - FDD* – это мобильная связь, имеющая частотное разделение сигнала. В данном случае сигнал разделяется на две разные частоты. Одна частота для приема данных (*download*), другая – для передачи (*upload*). Это позволяет улучшить качество связи и уменьшить задержки при передаче данных. Стоит отметить, что в данном режиме количество каналов в обоих направлениях (восходящие и нисходящие каналы связи), как правило, одинаковое.

Наиболее распространенным на сегодняшний день является режим *FDD*, так как в таком случае достигается более высокая стабильность соединения, качество связи, а также меньшие задержки, а, значит, более высокая скорость передачи данных.

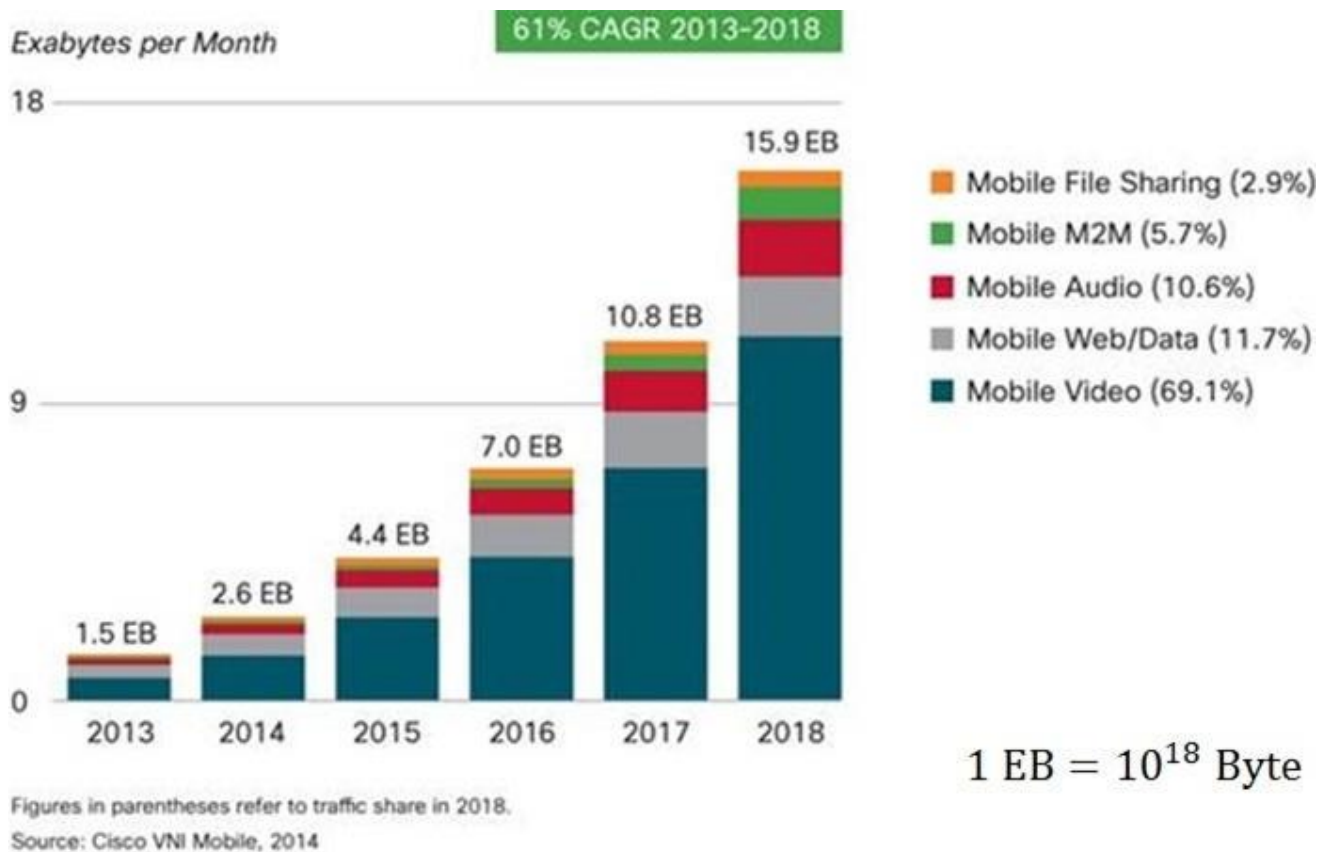
## 4.3. Совместимость LTE TDD и FDD

Технология *LTE* способна комбинировать два режима связи: *FDD* и *TDD*, поэтому она является более гибкой и достигается возможность изменения пропускной способности, а также способов организации связи. Режим *FDD* является наиболее эффективным в условиях больших размеров сот и при высокой скорости передвижения пользователя. Режим *TDD* в свою очередь больше подходит для работы в пикосотах и микросотах. Другими словами, в условиях медленного передвижения абонента или при полной неподвижности пользователя.

Потребность в совместимости режимов *TDD* и *FDD* предусматривает осуществление простых и недорогих двухрежимных терминалов *FDD/TDD*. В наше время это не представляет сложности и вполне доступно благодаря применению одних и тех же микросхем в однорежимных и двухрежимных телефонах. При этом стоит отметить, что двухрежимное мобильное устройство незначительно сложнее обычного *FDD* терминала.

В настоящее время в увеличении скорости мобильного Интернета заинтересованы все группы пользователей сетевых ресурсов, поэтому переход к 4G–технологии очень важен. Технология 4G как раз и способна вывести мобильную связь на новый уровень.

Хорошо известно, что мобильный трафик растет экспоненциально и, по данным *Cisco*, в 2018 году объем ежемесячного потребления трафика составил около 16 Эксабайт (Рис. 4.4).



**Рисунок 4.4 - Диаграмма роста мобильного трафика**

Основными причинами такого роста являются:

- Рост количества мобильных устройств.
- Разнообразие контента, в том числе "тяжелого".
- Желание всегда быть в курсе новостей.
- Просмотр *HD*-видео.

#### **4.4. Какие проблемы возникают при малой скорости Интернета?**

При воспроизведении видео и аудио происходит *буферизация*, т.е. сначала часть видео загружаются в буфер, и после этого можно его воспроизвести. При малых скоростях, буферизация проходит медленно, и, поэтому просматриваемый видео ролик будет воспроизводиться отрывками.

Есть два выхода из этой проблемы: либо поставить просмотр на паузу, либо понизить качество изображения (если это возможно), но в случае потокового вещания, паузы нет и остается только вариант «понизить качество», причем идет потеря части информации, так как это вещание идет в режиме онлайн.

Для случая передачи данных можно привести пример программного продукта «Skype». Используя это программное обеспечение (ПО) при малых скоростях Интернета, можно получить ухудшение качества связи (то есть ухудшается разборчивость голоса и качество видео, если вы используете видеосвязь). Могут также возникать пропадания и разрывы соединения. И,

конечно, если идет загрузка из Интернета, например, из *Play-Market*, то скорость определяет время ожидания до первичной загрузки файла.

Также, кроме скорости Интернета, следует учитывать «пинг». Данная характеристика показывает во временном эквиваленте задержку пакетов данных. В сетях *3G* задержка составляет от 80 и более миллисекунд. Для онлайн игр задержка свыше 100 миллисекунд (0,1с) становится заметной: начинаются притормаживания, все начинает дергаться, и играть становится очень трудно. С помощью технологии *HSPA* в сетях *3G* удалось существенно увеличить скорость и уменьшить задержки; пинг, при использовании данной технологии, составляет примерно 60мс.

В *4G* базовые станции получили возможность выполнять функцию маршрутизации трафика, и контроллер, который вносил задержку, стал не нужен. Благодаря этому, пинг понижается и выходит на новый уровень по сравнению с *3G*.

Таким образом, имея высокую скорость увеличиваются возможности пользователей Интернета:

- Можно смотреть видео и слушать музыку без пауз и в хорошем качестве.
- Улучшается качество голосовой и видео связи.
- Уменьшается время ожидания до первичной загрузки файла.

Скорость Интернета является важной характеристикой для сервисов всемирной сети и играет важную роль, позволяя более широко использовать все возможности мобильного устройства.

#### **4.5. Принципы построения и функционирования сетей LTE**

Стандарт сети *LTE* включает в себя сеть радиодоступа *E-UTRAN* (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) и усовершенствованное пакетное ядро *EPC* (*Evolved Packet Core*), как показано на схеме (Рис. 4.5). Сеть *LTE* построена как совокупность новых базовых станций *eNB* (*Evolved NodeB* или *eNodeB*), где станции *eNB* соединены между собой интерфейсом *X2*, и подключены к ядру *EPC* посредством интерфейса *S1*. На рисунке 4.6 показано взаимодействие элементов в архитектуре сети: *S-GW* (*Serving Gateway*) – обслуживающих шлюзов, содержащих ПО управления по протоколу *MME* (*Mobility Management Entity*).

В сети радиодоступа радио интерфейс между *UE* и *eNB* осуществлен на основе технологии ортогонального частотного разнесения *OFDMA* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Работа *EPC* основана на технологии *IP*. Таковую структуру относят к *All-IP Network* (*AIPN*).

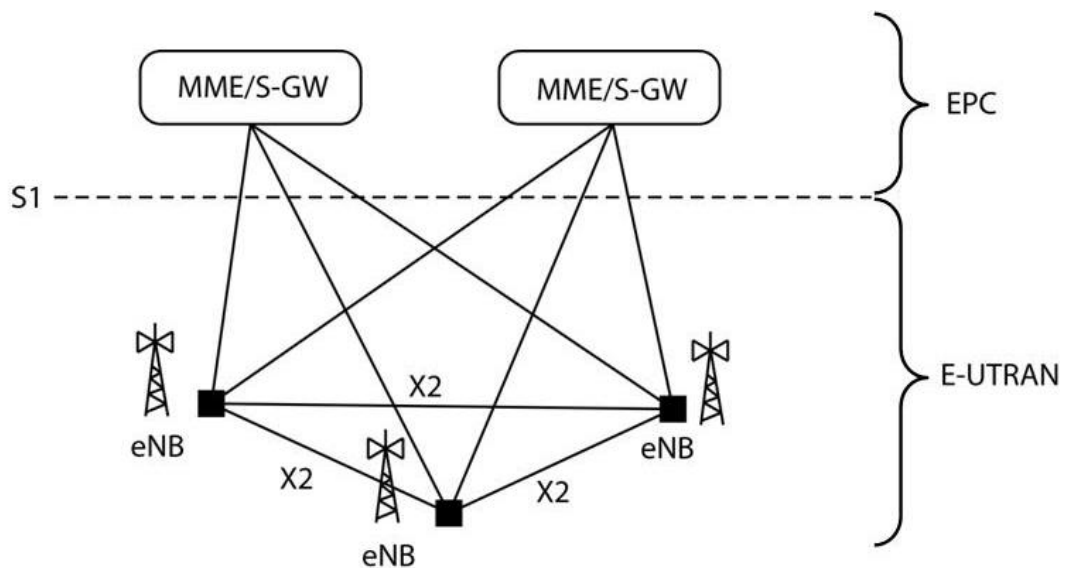


Рисунок 4.5 – Структура LTE

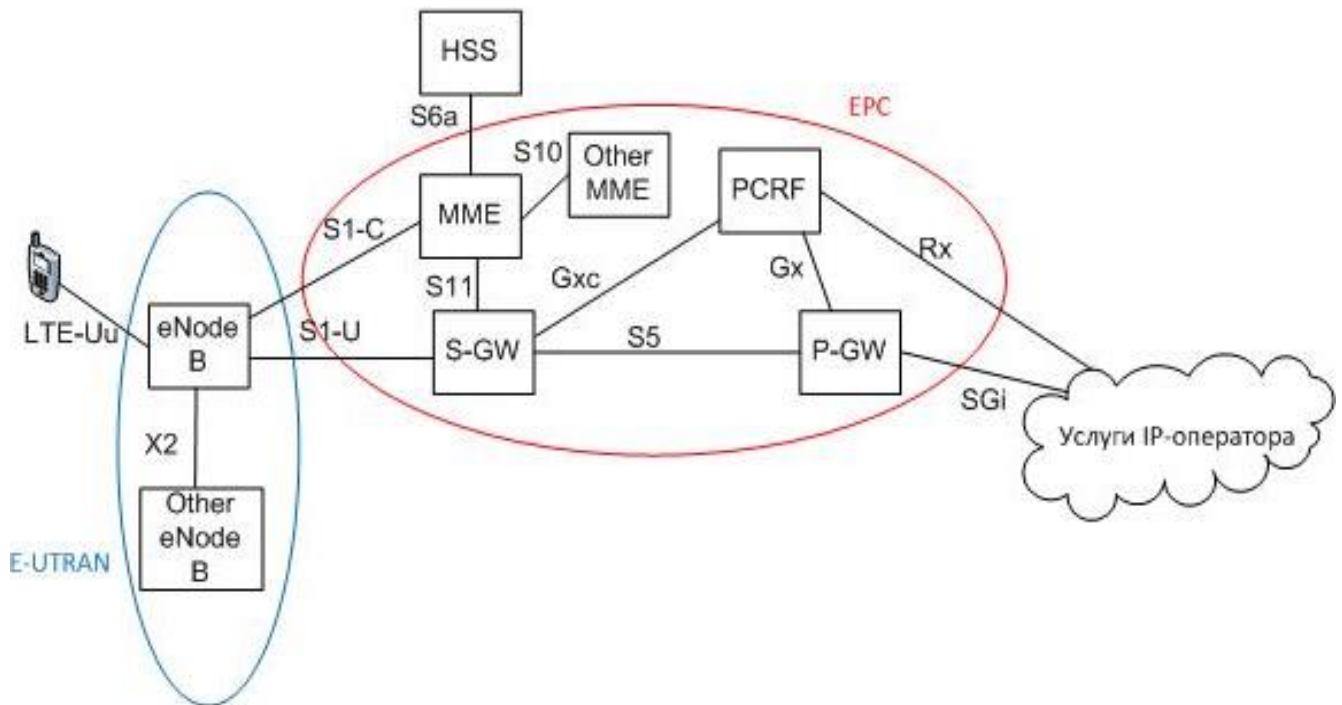


Рисунок 4.6 - Взаимодействие элементов сети LTE

Ядро сети *EPC* (*Evolved Packet Core*) состоит из обслуживающего шлюза *S-GW* (*Serving Gateway*), шлюза для выхода на пакетные сети *P-GW* (*Packet Data Network Gateway*), структуры управления по протоколу *MME* (*Mobility Management Entity*), связанной с *S-GW* и *eNodeB* сигнальными интерфейсами.

Стандарт *eNB* объединяет в себе функции базовых станций и контроллеров сетей 3-го поколения:

- обеспечивает передачу трафика и сигнализации по радиоканалу;
- управляет распределением радио ресурсов;
- обеспечивает сквозной канал трафика к *S-GW*;
- поддерживает синхронизацию передач и контролирует уровень помех в соте;

- обеспечивает шифрацию и целостность передачи трафика по радиоканалу;
- выбирает *MME* и организует сигнальный обмен с ним;
- производит сжатие заголовков *IP*-пакетов;
- поддерживает услуги мультимедийного вещания;
- при использовании структуры с усилителями мощности на антенной мачте организует управление антеннами по специальному интерфейсу *Iuant*.

Разберем приведенные на рисунках схемы (Рис. 4.5-4.6) более подробно. Интерфейс *S1*, как показано на рисунке 4.6, поддерживает передачу данных с *S-GW* и сигнализации через *MME*. Необходимо отметить, что *eNB* может иметь соединения с несколькими *S-GW*. Интерфейсы *X2* используют для организации «хэндоверов» между соседними базовыми станциями, в том числе и при балансировке нагрузки между ними. При этом интерфейсы *X2* могут быть логическими, то есть для их организации не обязательно реальное физическое соединение между *eNB*.

В функции обслуживающего шлюза *S-GW* входит:

- маршрутизация передаваемых пакетов данных;
- установка качественных показателей (*QoS*) предоставляемых услуг;
- буферизация пакетов для *UE*, пребывающих в состоянии *IdleMode*;
- предоставление учетных данных для тарификации и оплаты выполненных услуг.

*S-GW* является якорной структурой, обеспечивающей мобильность абонентов. Каждую работающую *UE* обслуживает определенный *S-GW*. Теоретически, *UE* может быть связана с несколькими пакетными сетями; тогда ее будут обслуживать несколько серверов *S-GW*.

Шлюз для выхода на пакетные сети *P-GW* обеспечивает точку доступа к внешним *IP*-сетям. Соответственно он является якорным шлюзом для обеспечения трафика. Если абонент имеет статический *IP*-адрес, то *P-GW* его активизирует. В случае, если абонент должен получить на время сеанса связи динамический *IP*-адрес, *P-GW* запрашивает его с сервера *DHCP* (*Dynamic Host Configuration Protocol*) или сам выполняет необходимые функции *DHCP*, после чего обеспечивает доставку *IP*-адреса абоненту. В состав *P-GW* входит *PCEF* (*Policy and Charging Enforcement Function*), который обеспечивает качественные характеристики услуг на внешнем соединении через интерфейс *S1* и фильтрацию пакетов данных. При обслуживании абонента в домашних сетях, функции *P-GW* и *S-GW* могут выполнять как два разных, так и одно устройство.

Интерфейс *S5* представляет собой туннельное соединение *GPRS* или *Proху Mobile Ipv6*. Если *P-GW* и *S-GW* находятся в разных сетях (например, при обслуживании абонента в роуминге), то интерфейс *S5* заменяют интерфейсом *S8*.

**Управляющий блок MME**, прежде всего, поддерживает выполнение процедур протокола *MobilityManagement*: обеспечение безопасности работы в сети при подключении UE и выбор S-GW, P-GW.

MME связан с HSS своей сети посредством интерфейса S6a. Интерфейс S10, соединяющий различные MME, позволяет обслуживать UE при перемещениях абонента, а также при его нахождении в роуминге. По сути, *Policy and Charging Resource Function (PCRF)* представляет собой управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами сети, учет и тарификацию предоставляемых услуг. Как только появляется запрос на новое активное соединение, эта информация поступает на *PCRF*, далее идет оценка имеющихся в распоряжении ресурсов сети и пересылка в *PCEF* шлюза P-GW команды, устанавливающей требования к качеству услуг и к их тарификации.

#### **4.6. Варианты развития LTE**

*LTE-Advanced* — это название спецификации *3GPP 10 версии*, которым Международный союз электросвязи присвоил сертификат «*IMT-Advanced*».

Возможность агрегирования спектра является, одной из главных характерных особенностей *LTE-Advanced* и обеспечивает дополнительную гибкость использования спектра, изначально заложенную в системе LTE в форме набора каналов с масштабированной шириной (Рис 4.7).

Необходимо отметить ряд аспектов, связанных с этим важным вопросом.

Во-первых, для достижения заявленной в требованиях МСЭ и стандартах *3GPP* скорости передачи данных 1 Гбит/с в *LTE-Advanced* необходимо существенно расширить полосу канала. Такое решение является наиболее вероятным и возможным, т.к. на сегодняшний день мала вероятность увеличения пропускной способности системы за счет заметного улучшения показателей спектральной эффективности, существующих в *LTE*. В связи с этим, в *LTE-Advanced* установлен верхний предел ширины канала 100 МГц, т.е. выбрана довольно широкая полоса.



Во-вторых, ввиду отсутствия свободных полос спектра указанной ширины, практически во всем мире в стандартах 3GPP заложена возможность агрегации (объединения) нескольких полос частот, которая также получила название агрегации несущих частот.

	Основная масса (2013) Все первоначальные устройства				Класс 5	LTE-Advanced (3GPP вер. 10 и более поздних)		
	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4		Класс 6	Класс 7	Класс 8
Пиковая скорость в канале к абоненту/от абонента	10/5 Мбит/с	50/25 Мбит/с	100/50 Мбит/с	150/50 Мбит/с	300/75 Мбит/с	300/50 Мбит/с	300/100 Мбит/с	3000/1500 Мбит/с
Ширина полосы радиочастотного канала	20 МГц	20 МГц	20 МГц	20 МГц	20 МГц	40 МГц*	40 МГц	100 МГц
Модуляция в канале к абоненту	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM	64 QAM
Модуляция в канале от абонента	16 QAM	16 QAM	16 QAM	16 QAM	64 QAM	16 QAM	16 QAM	64 QAM
MIMO в канале к абоненту	опционально	2 x 2	2 x 2	2 x 2	4 x 4	2x2 (агрегация несущих) или 4x4	2x2 (агрегация несущих) или 4x4	8 x 8
MIMO в канале от абонента	нет	нет	нет	нет	нет	нет	2 x 2	4 x 4
	Описано в первоначальной версии LTE (3GPP версии 8)					Агрегация несущих 40МГц		

Рисунок 4.7 - LTE-Advanced

К *LTE-A* применяются более жесткие требования, по сравнению с предыдущими технологиями.

Так, по анализу источников литературы на февраль 2017 года, требования к *LTE-Advanced* выражались в следующем:

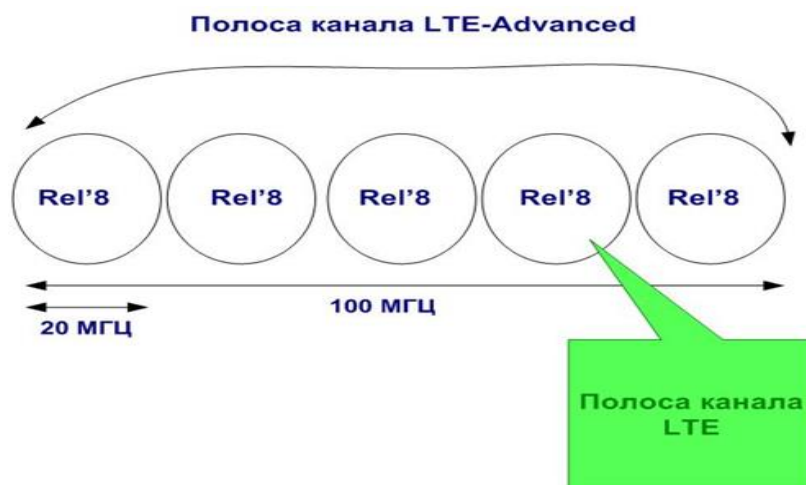
- высокая степень функциональности для предоставления широкого диапазона высокоскоростных услуг в масштабах мирового рынка с существенной экономической эффективностью и качеством;
- возможность взаимодействия с другими системами радиодоступа, включая полную совместимость с *LTE (Rel8)*;
- гармонизация и совместимость абонентских устройств в международном масштабе;
- реализация роуминга по всему миру;
- поддержание ширины канала до 40 МГц включительно;
- возможность организации более широкой полосы канала (до 100 МГц), которая потенциально может обеспечить пиковую скорость передачи данных **3Гбит/с** в *Downlink* и **1,5Гбит/с** в *Uplink*;
- обеспечение спектральной эффективности в каналах *Downlink* до **15 бит/с/Гц** при 4x4 MIMO и до **6,75 бит/с/Гц** — при 2x4 MIMO в каналах *Uplink*;
- использование 8 передающих антенн MIMO в каналах *Downlink*.

Варианты агрегации и частотный разнос компонентных несущих в сетях *LTE-A* весьма разнообразны. В требованиях к радиоканалам,

специфицированных *3GPP* для агрегации компонентных несущих, определены две возможности агрегации: прилегающих и не прилегающих друг к другу частотных каналов *LTE*.

Разрешенные для агрегации частотные каналы, используемые при создании компонентных несущих в сетях *LTE - Advanced*, имеют типовые значения ширины частотных каналов *LTE* для соответствующих частотных диапазонов: 1,4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц и 20 МГц.

На рисунке 4.8 показан пример агрегации пяти смежных полос частот, при которой полосы шириной 20 МГц (каналы *LTE*) расположены рядом друг с другом.



**Рисунок 4.8 - Агрегированная полоса канала LTE-A**

В этом случае агрегированная полоса может обрабатываться в одном самостоятельном приемопередатчике базовой станции. Кроме того, агрегирование полосы канала может осуществляться из компонент, находящихся в разных частях радиочастотного спектра, как показано на рисунке 4.9.



**Рисунок 4.9 – Агрегирование канала LTE-Advanced из разных полос частот**

В системе *LTE-Advanced* возможны несколько категорий ранжирования спектра из трех типов частотных компонент:

- агрегирование смежных компонент внутри одной полосы частот (*intra-band adjacent*);
- агрегирование несмежных компонент внутри одной полосы частот (*intra-band non-adjacent*);

– агрегирование компонент в разных полосах (диапазонах) частот (*inter-band*).

Еще одним определенным в рамках *LTE-A* улучшением является координированная передача или прием *CoMP* (*Coordinated Multi Point*). Основной ее задачей является улучшение показателей работы мобильных станций, которые находятся на границе соты. Для этого, находящиеся там мобильные станции обслуживаются не одним сектором, а несколькими.

Поэтому, нисходящая передача одной мобильной станции может осуществляться с нескольких секторов в тот же момент времени.

То же самое относится и к восходящей передаче, только в этом случае указанные положения относятся к приему данных от мобильной станции несколькими секторами.

При использовании *CoMP* для нисходящей передачи, возможен ряд следующих вариантов:

– Передача данных мобильной станции одновременно осуществляется с нескольких позиций, такой вариант называется *Join Transmission*. При использовании этого варианта данные, адресованные мобильной станции, должны быть доступны на всех позициях, с которых осуществляется передача. Кроме этого, передача должна быть синхронизирована.

– Выбор позиции, с которой осуществляется передача данных, происходит динамически, но данные так же, как и в варианте выше, доступны на всех точках, которые могут осуществлять передачу. Такой вариант называется *Dynamic Point Selection (DPS)*.

– Вариант, называемый как *Coordinated Scheduling/Beamforming (CS)*. В этом случае данные доступны только на той позиции, которая осуществляет их передачу. При этом, выбор позиции для передачи происходит с учетом набора данных, собранных со всех позиций, которые могут быть выбраны для передачи данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2012. — 960 с.: ил.
2. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2016. — 992 с.: ил.
3. RFC 2460. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification.
4. Томас Ли (Thomas Lee) и Джозеф Дэвис (Joseph Davies). Протокол IPv6 (Internet Protocol Version 6).
5. Стреналюк Ю.В., Копылов О.А., Штрафина Е.Д. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Часть 1 Вычислительные системы и ЭВМ. Учебник для студентов высших учебных заведений. - Королевский ИУЭС, 2011, 318с.
6. Сети ЭВМ: Учебное пособие. - Ярославль-Королев МО: Изд-во «Канцлер», 2009 - 134с.
7. Стреналюк Ю.В. Лекции по дисциплине «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации». Королев, МГОТУ, 2011-2017гг.
8. Стреналюк Ю.В. Лекции по дисциплине «Сети и системы передачи информации». Королев, МГОТУ, 2016-2017гг.
9. Стреналюк Ю.В. Лекции по дисциплине «Современные методы оценки пропускной способности информационных сетей». Королев, МГОТУ, 2012-2017гг.
10. Обзор LTE-Advanced, основные характеристики и отличия от LTE [Электронный ресурс] URL: <http://anisimoff.org/lte/lte.html>, (дата обращения 19.04.2019)

Диапазоны частот для LTE и LTE-Advanced

Номер диапазона	Линия «вверх» (UL) (приёмник БС / передатчик МС)	Линия «вниз» (DL) (передатчик БС / приёмник МС)	Режим
1	1920...1980	2110...2170	FDD
2	1850...1910	1930...1990	FDD
3	1710...1785	1805...1880	FDD
4	1710...1755	2110...2155	FDD
5	824...849	869...894	FDD
6*	830...840	875...885	FDD
7	2500...2570	2620...2690	FDD
8	880...915	925...960	FDD
9	1749,9...1784,9	1844,9...1879,9	FDD
10	1710...1770	2110...2170	FDD
11	1427,9...1452,9	1475,9...1500,9	FDD
12	689...716	728...746	FDD
13	777...787	746...756	FDD
14	788...798	758...768	FDD
15	Зарезервирован	Зарезервирован	FDD
16	Зарезервирован	Зарезервирован	FDD
17	704...716	734...746	FDD
18	815...830	860...875	FDD
19	830...845	875...890	FDD
...	...	...	...
33	1900...1920		TDD
34	2010...2025		TDD
35	1850...1910		TDD
36	1930...1990		TDD
37	1910...1930		TDD
38	2570...2620		TDD
39	1880...1920		TDD
40	2300...2400		TDD
* Диапазон 6 пока не применяется; БС – базовая станция; МС – мобильная станция			

Номер диапазона	Линия «вверх» (UL) (приёмник БС / передатчик МС)	Линия «вниз» (DL) (передатчик БС / приёмник МС)	Режим
1	1920...1980	2110...2170	FDD
2	1850...1910	1930...1990	FDD
3	1710...1785	1805...1880	FDD
4	1710...1755	2110...2155	FDD
5	824...849	869...894	FDD
6	830...840	875...885	FDD
7	2500...2570	2620...2690	FDD
8	880...915	925...960	FDD
9	1749,9...1784,9	1844,9...1879,9	FDD
10	1710...1770	2110...2170	FDD
11	1427,9...1452,9	1475,9...1500,9	FDD
12	689...716	728...746	FDD
13	777...787	746...756	FDD
14	788...798	758...768	FDD
15	Зарезервирован	Зарезервирован	FDD
16	Зарезервирован	Зарезервирован	FDD
17	704...716	734...746	FDD
18	815...830	860...875	FDD
19	830...845	875...890	FDD
20	832...862	791...821	FDD
21	1447,9...1462,9	1495,9...1510,9	FDD
22	3410...3500	3510...3600	FDD
...	...	...	...
33		1900...1920	TDD
34		2010...2025	TDD
35		1850...1910	TDD
36		1930...1990	TDD
37		1910...1930	TDD
38		2570...2620	TDD
39		1880...1920	TDD
40		2300...2400	TDD
41		3400...3600	TDD

Примечание: Частотные диапазоны в таблице изменены по результатам исследований 3GPP и ITU-R

FDD/TDD

FDD/TDD

## Типы и стандарты Ethernet IEEE 802.3

**Первые версии Ethernet**

**Fast Ethernet** — общее название для набора стандартов передачи данных в компьютерных сетях по технологии Ethernet со скоростью до 100 Мбит/с, в отличие от исходных 10 Мбит/с.

**Gigabit Ethernet (GbE)** — термин, описывающий набор технологий для передачи пакетов Ethernet со скоростью 1 Гбит / с. Он определен в документе IEEE 802.3-2005.

**10 Gigabit Ethernet** или 10GbE являлся новейшим (на 2006 год) и самым быстрым из существующих стандартов Ethernet. Он определяет версию Ethernet с номинальной скоростью передачи данных 10 Гбит/с, что в 10 раз быстрее Gigabit Ethernet. Стандарт для оптоволокна специфицирован в IEEE 802.3-2005, а для витой пары в IEEE 802.3an-2006.

**40-гигабитный Ethernet** (или 40GbE) и **100-гигабитный Ethernet** (или 100GbE) — стандарты Ethernet, разработанные группой IEEE P802.3ba Ethernet Task Force в период с 2007 по 2011 год. Эти стандарты являются следующим этапом развития группы стандартов Ethernet, имевших до 2010 года наибольшую скорость в 10 гигабит/с. В новых стандартах обеспечивается скорость передачи данных в 40 и 100 гигабит в секунду.

### Сокращения и термины

**1000Base-LX** - стандарт на сегменты сети *Gigabit Ethernet* на оптоволоконном кабеле с длиной волны света 1,3 мкм.

**1000Base-SX** - стандарт на сегменты сети *Gigabit Ethernet* на оптоволоконном кабеле с длиной волны света 0,85 мкм.

**1000Base-CX** - стандарт на сегменты сети *Gigabit Ethernet* на экранированной витой паре.

**100Base-FX** - обозначение технологии *Fast Ethernet* по стандарту 802.3 для передачи больших сообщений по многомодовому оптоволокну в полудуплексном и полнодуплексном режимах.

**100Base-T4** - обозначение технологии *Fast Ethernet* по стандарту 802.3 со скоростью 100 Мб/с для четырех парной витой пары. Вместо кодирования *4B/5B* в этом методе используется кодирование *8B/6T*.

**100Base-TX** - обозначение технологии сети *Fast Ethernet* по стандарту 802.3 для передачи больших сообщений с использованием метода *MLT-3* для передачи сигналов 5-битовых порций кода *4B/5B* по витой паре, а также наличие функции автопереговоров (*Auto-negotiation*) для выбора режима работы порта.

**10Base2** - обозначение технологии *Ethernet* по стандарту 802.3 со скоростью передачи данных 10 Мб/с для тонкого коаксиального кабеля.

**10Base5** - обозначение технологии *Ethernet* по стандарту 802.3 со скоростью передачи данных 10 Мб/с для толстого коаксиального кабеля.

**10Base-FL** - стандарт на сегменты сети *Ethernet* на оптоволоконном кабеле.

**10BaseT** - обозначение технологии *Ethernet* по стандарту 802.3 со скоростью передачи данных 10 Мб/с для кабеля "витая пара".

**AAL** - ATM Adaptation Layer - уровень адаптации ATM.

**ARP** - Address Resolution Protocol - протокол разрешения адресов.

**ATM** - Asynchronous Transfer Mode - асинхронный режим передачи.

**B-ISDN** - Broadband ISDN - широкополосный ISDN.

**BNC** - Bayonet Network Connector - коннектор для монтажа коаксиального кабеля.

**Bps** - bit per second - бит в секунду.

**CIR** - Committed Information Rate - гарантированная скорость обмена в сетях Frame Relay.

**CoMP** - Coordinated Multi Point - координированная передача / прием.

**CoS** - Class of Service - класс сервиса в сетях ATM.

**CS** - Coordinated Scheduling - координированное планирование

**DPS** - Dynamic Point Selection – динамическая точка доступа.

**DWDM** - Dense Wavelength Division Multiplexing - плотное спектральное мультиплексирование.

**EML** - Externally Modulated Laser, EML - лазер с внешней модуляцией.



**Ethernet** – технология локальной сети.

**FDDI** - Fiber Distributed Data/Digital Interface - распределенный интерфейс передачи данных по оптическому кабелю.

**FE** - Fast Ethernet - быстрый Ethernet (100 Мб/с).

**FEC** - Forwarding Equivalence Class - класс сетевого уровня

**FR** - Frame Relay - «пересылка кадров» - сетевая технология.

**FTP** - File Transfer Protocol - протокол передачи файлов.

**GBE** - Gigabit Ethernet - гигабитовый Ethernet (1000 Мб/с).

**GUI** - Graphical User Interface - графический интерфейс пользователя.

**HDLC** - High Level Data Link Control - управление каналом данных высокого уровня (канальный уровень модели OSI).

**HTML** - HyperText Markup Language - язык разметки гипертекста.

**HTTP** - HyperText Transfer Protocol - протокол передачи гипертекста.

**ICMP** - Internet Control Message Protocol - межсетевой протокол управления сообщениями.

**ID** - Identifier- идентификатор (имя или номер).

**IP** - Internet Protocol - межсетевой протокол.

**ISDN** - Integrated Service Digital Network - цифровая сеть интегрального обслуживания (голос, факс, данные).

**ISO** - International Standards Organization - Международная организация по стандартизации (МОС).

**kb** - kilobit (1000 bit).

**LAN** - Local Area Network - локальная вычислительная сеть.

**LAT** - Local Area Transport - коммуникационный протокол для управления трафиком.

**LCP** - Link Control Protocol - протокол управления связью.

**MAC** - Medium Access Control - управление передающей средой.

**MAN** - Metropolitan Area Network - локальная вычислительная сеть.

**MTU** - Maximum Transfer Unit - максимальная единица передачи (размер пакета).

**NAT** - Network Address Translation - протокол трансляции сетевых адресов.

**NCP** - Network Control Protocols - семейство протоколов управления сетью.

**NetBEUI** - NetBIOS Extended User Interface - расширенный пользовательский интерфейс (стек протоколов).

**NNI** - Network- Network Interface - интерфейс «сеть - сеть».

**OS** - Operating System - операционная система.

**OSI** - Open Systems Interconnection - модель взаимодействия открытых систем.

**PAD** - Packet Assembler/Disassembler - сборщик-разборщик пакетов.

**PAP** - Password Identification Protocol - протокол определения пароля.

**PC** - Personal Computer - персональный компьютер.

**PNNI** - Private Network-Network Interface - частный интерфейс «сеть - сеть».

**POP** - Post Office Protocol - почтовый офисный протокол (почтовый доставочный агент).

**Ppp (p2p)**- Point-to-Point Protocol - протокол «точка - точка».

**Proxy server** - уполномоченный (промежуточный) сервер доступа в Internet.

**PVC** - Permanent Virtual Circuit - постоянный виртуальный канал (соединение).

**QoS** - Quality of Service - качество обслуживания.

**RIP** - Routing Information Protocol - протокол информации о маршрутах.

**RJ-45**- Recommended Jack (рекомендуемый разъем) - разъем для монтажа витой пары.

**RS-232** - Recommended Standard - 25-контактный разъем для соединения DTE-DCE.

**RT** - Real Time - реальный масштаб времени.

**RT-VBR** - Real Time Variable Bit Rate - переменная скорость в реальном масштабе времени.

**SHHTTP** - Secure Hypertext Transfer Protocol - защищенный протокол HTTP.

**SLIP** - Serial Line Internet Protocol - IP поверх последовательной линии.

**SMTP** - Simple Mail Transfer Protocol - простой протокол передачи почты.

**SNMP** - Simple Network Management Protocol - простой протокол управления сетью.

**STM** - Synchronous Transfer Mode - синхронный режим передачи.

**STP** - Shielded Twisted Pair - экранированная витая пара.

**SVC** - Switched Virtual Circuit - коммутируемый виртуальный канал.

**TCP** - Transmission/Transport Control Protocol - протокол управления передачей.

**TCP/IP** - Transmission Control Protocol/ Internet Protocol - стек протоколов TCP/IP.

**TCP/IP** - Time Divizion Multiplexing – мультиплексирование с разделением по времени.

**Telnet** - протокол установления сеансового соединения с удаленной машиной (протокол удаленного доступа).

**TFTP**- Trivial FTP - упрощенный протокол FTP.

**Token Ring** - архитектура локальной сети (метод доступа к среде передачи -маркерное кольцо).

**TTL** - Time To Live - время жизни (количество переходов пакета ping).

**UDP** - User Datagram Protocol - протокол передачи пользовательских дейтаграмм.

**UNI** - User Network Interface - интерфейс «пользователь - сеть».

**URL** - Uniform Resource Location - универсальная адресация ресурсов.

**UTP** - Unshielded Twisted Pair - неэкранированная витая пара.  
**VCN** - Virtual Backbone Network - виртуальная опорная сеть.  
**VBR** - Variable Bit Rate - переменная скорость передачи в сетях ATM.  
**VBR-NRT** - VBR Non Real Time - VBR не в реальном масштабе времени.  
**VBR-RT** - VBR Real Time - VBR в реальном масштабе времени.  
**VCI** - Virtual Channel Identifier - идентификатор виртуального канала в ATM.  
**VLAN** - Virtual LAN - виртуальная локальная вычислительная сеть.  
**VPI** - Virtual Path Identifier- идентификатор виртуального пути в ATM.  
**VPN** - Virtual Private Network - виртуальная частная сеть.  
**WAN** - Wide Area Network - территориально распределенная сеть.  
**WINS** - Windows Internet Naming Service - межсетевая служба имен.  
**WLAN** - Wireless LAN - беспроводная ЛВС.  
**WS** - Workstation - рабочая станция.  
**WWW** - World Wide Web - всемирная паутина.  
**X.25** - протокол сетевого уровня модели OSI.  
**X.400** - рекомендация МККТТ для электронной почты.

**Авторитетный сервер DNS** - основной или вспомогательный сервер домена.

**Адаптер (*adapter*)** - устройство либо программа для согласования параметров входных и выходных сигналов в целях сопряжения объектов.

**Администратор** - специалист, отвечающий за настройку и правильную работу сетевых программных и аппаратных средств.

**Адрес (*address*)** - закодированное обозначение пункта отправления либо назначения данных.

**Адрес IP** - адрес, однозначно определяющий компьютер в сети (адрес состоит из 32 двоичных разрядов и не может повторяться во всей сети TCP/IP). Адрес IP обычно разбивается на четыре октета по восемь двоичных разрядов (один байт); каждый октет преобразуется в десятичное число и отделяется точкой, например 102.54.94.97.

**Архитектура** - концепция, определяющая модель, структуру, выполняемые функции и взаимосвязь компонентов сети. Архитектура охватывает логическую, физическую и программную структуры и функционирование сети, а также элементы, характер и топологию взаимодействия элементов.

**Асинхронная передача** - метод передачи основанный на пересылки данных по одному символу. При этом промежутки между передачами символов могут быть неравными.

**База данных (БД)** - совокупность взаимосвязанных данных, организованная по определенным правилам в виде одного или группы файлов.

**Базовый порт ввода/вывода** (*base I/O port*) - адрес памяти, по которому центральный процессор и адаптер проверяют наличие сообщений, которые они могут оставлять друг для друга.

**Безопасность данных** (*data security*) - концепция защиты программ и данных от случайного либо умышленного изменения, уничтожения, разглашения, а также несанкционированного использования.

**Беспроводной мост** (*Wireless Bridge*) - сетевое устройство для организации беспроводной связи между локальными сетями.

**Блок данных** (*data unit*) - последовательность символов фиксированной длины, используемая для представления данных или самостоятельно передаваемая в сети.

**Бод** (*baud*) - термин, используемый для измерения скорости модема, который описывает количество изменений состояния, происходящих за одну секунду в аналоговой телефонной линии.

**Брандмауэр (межсетевой экран)** - программная или программно-аппаратная система, которая выполняет контроль информационных потоков, поступающих в информационную систему и/или выходящих из нее, и обеспечивает защиту информационной системы посредством фильтрации информации.

**Браузер** - программа для просмотра *Web*-страниц и навигации по всемирной паутине - *WWW*.

**Буфер** (*buffer*) - запоминающее устройство, используемое между объектами при передаче данных для временного хранения данных с целью согласования скоростей.

**Виртуальное соединение** - способ взаимодействия между прикладными процессами различных узлов вычислительной сети. В случае, если виртуальное соединение описывается в маршрутизаторах заранее, его называют постоянным (*Permanent virtual circuit, PVC*). Если соединение устанавливается при каждом обмене данными, его называют коммутируемым виртуальным соединением (*Switched virtual circuit, SVC*).

**Виртуальная частная сеть** (*Virtual Private Network, VPN*) - сеть организации, получающаяся в результате объединения нескольких территориально разделенных ЛВС с помощью каналов глобальных сетей, например, через Интернет.

**Виртуальные локальные вычислительные сети (ВЛВС)** - логические наложения на коммутируемое объединение сетей, определяющие группы пользователей. Это означает, что пользователь или система, подключенные к физическому порту, могут участвовать в нескольких ВЛВС - группах, поскольку логическая сеть не обязана подчиняться ограничениям физической. Границы ВЛВС задают область локального вещания. Обычно потоки данных в ВЛВС коммутируются на уровне 2, в то время как трафик между ВЛВС маршрутизируется, с использованием внешнего маршрутизатора.

**Витая пара** (*Twisted pair*) - разновидность кабеля, представляющего собой два или более изолированных провода в общей оболочке. В отличие от

коаксиального кабеля, витая пара гораздо удобнее при прокладке - её можно свободно изгибать; кроме того, она дешевле.

**Выделенная линия** (*dedicated line*) - (точка-точка) частная или адресуемая линия, наиболее популярная в глобальных вычислительных сетях. Обеспечивает полнодуплексную полосу пропускания, установив постоянное соединение каждой оконечной точки через мосты и маршрутизаторы с несколькими ЛВС.

**Выделенный сервер** (*dedicated server*) - сетевой сервер, который действует только как сервер и не предназначен для использования в качестве клиентской машины.

**Глобальная вычислительная сеть** (*Wide Area Network*) - сеть, объединяющая компьютеры разных городов, регионов и государств.

**Группа** - в операционных системах *Unix* и *Windows* объединяющая учетная запись членов группы. Некоторые полномочия доступа к объектам распространяются на всех членов группы.

**Группа** (*group*) - совокупность пользователей, определяемая общим именем и правами доступа ресурсам.

**Дейтаграммы** (*datagrams*) - сообщения, которые не требуют подтверждения о приеме от принимающей стороны. Термин, используемый в некоторых протоколах для обозначения пакета.

**Дефрагментация** (*defragmentation*) - процесс воссоздания больших PDU (пакетных блоков данных) на более высоком уровне из набора более мелких PDU с нижнего уровня.

**Домашняя сеть** - локальная сеть передачи данных, применяемая для дистанционного управления бытовыми приборами и устройствами: домашним компьютером, видеомэгафоном, охранной сигнализацией, системой освещения и микроклимата, холодильником и т.п.

**Домен** (*domain*) - определенная администратором сети совокупность компьютеров, использующих в операционной системе *WINDOWS Server* общую базу данных и систему защиты; каждый домен имеет уникальное имя.

**Доменная система имен** (*Domain Name System, DNS*) - распределенная база данных, содержащая информацию о соответствии логических адресов и доменных имен. Позволяет преобразовывать числовые адреса в имена и наоборот.

**Доступ** (*access*) - операция, обеспечивающая запись, модификацию, чтение или передачу данных.

**Драйвер** (*driver*) - компонент операционной системы, взаимодействующий с внешним устройством или управляющий выполнением программ.

**Драйвер устройства** (*device driver*) - программа, которая обеспечивает взаимодействие между операционной системой и конкретными устройствами с целью ввода/вывода данных для этого устройства.

**Драйвер сетевого адаптера** - программное обеспечение, координирующее связь между сетевым адаптером и другим программным обеспечением компьютера.

**Дуплексный** (*Duplex, Full duplex*) - тип канала связи, поддерживающий возможность одновременной передачи информации в обоих направлениях.

**Звезда** (*star topology*) - вид топологии, при котором каждый компьютер подключен к центральному компоненту, называемому концентратором.

**Инкапсуляция** (*Encapsulation*) - обрамление дополнительной информацией каждого блока данных при передаче на более низкий уровень стека протоколов.

**Интернет** (*Internet*) - всемирная телекоммуникационная сеть передачи данных на основе протокола связи TCP/IP. Обеспечивает передачу данных любой природы между компьютерами и другими устройствами, являясь основой для сервисов верхнего уровня, таких как электронная почта, WWW, Интернет-телефония и т.д.

**Кабель** (*cable*) - один либо группа изолированных проводников, заключенных в герметическую оболочку.

**Кадр** (*frame*) - блок информации канального уровня.

**Канал** (*link*) - среда или путь передачи данных.

**Канал передачи данных** (*data channel*) - кабели и инфраструктура сети.

**Канал** - часть линии, обеспечивающих передачу независимого потока данных (речи, видео и т. д.) или управляющих сигналов. Примерами линий, содержащих более одного канала, являются E1 (30 каналов) и T1 (24 канала).

**Категория кабеля** (*Category of Performance*) - параметр, описывающий способность электрического кабеля (коаксиального кабеля, витой пары и т. д.) к передаче данных на определённых скоростях. Классификация кабелей и соединительных компонент стандартизована ассоциацией Electronic Industries Association в 1991 г. документом "Commercial Building Telecommunications Wiring Standard". Различают 7 категорий (чем больше номер, тем выше скорость и стоимость), но на практике наиболее распространены Category 3 и Category 5. Для аналоговых абонентских линий и линий ISDN-BRI достаточно Category 1 (полоса пропускания меньше 1 МГц); для линий Ethernet (типа 10Base-T) требуется Category 3 (до 16 МГц); для сетей Fast Ethernet - Category 5 (до 100 МГц). Следует учитывать, что все элементы линии (включая, например, разъёмы и розетки) должны быть достаточно высокой категории, чтобы обеспечивать требуемую скорость передачи.

**Классы IP-адресов** - традиционное логическое деление адресного пространства протокола IP по значению первого байта.

**Клиент** (*client*) - объект информационной сети, использующий сервис, предоставляемый другими объектами.

**Клиент-сервер** (*client-server*) - модель вычислений, при которой некоторые компьютеры запрашивают услуги (клиенты), а другие отвечают на такие запросы на услуги (серверы).

**Клиентское приложение** - приложение, обращающееся (с целью выполнения отдельных функций) к другому приложению-серверу (и обычно инициирующее начало его выполнения и завершение).

**Коаксиальный кабель** (*coaxial cable*) - тип кабеля, который использует центральный проводник, обернутый изолирующим слоем, окруженный

плетеной металлической сеткой и внешней оболочкой или экранирующим слоем.

**Коллизия** (*collision*) - ситуация, когда две рабочие станции пытаются одновременно занять канал (использовать рабочую среду - кабель).

**Коммуникационная сеть** - сеть, предназначенная для передачи данных, также она выполняет задачи, связанные с преобразованием данных.

**Коммутатор** (*switch*) - устройство или программа, осуществляющие выбор одного из возможных вариантов направления передачи данных.

**Коммутатор** (*Switch*) - многопортовое сетевое устройство, позволяющее перенаправлять пакеты на уровне физических или канальных адресов.

**Коммутаторы кадров** - многопортовые мосты уровня доступа к среде передачи, работающие со скоростью этой среды и гарантирующие на порядок более высокую пропускную способность при связывании клиентских и серверных систем по сравнению с концентраторами для среды с разделяемым доступом. При сегментации ЛВС коммутаторы кадров обеспечивают лучшие показатели цена/производительность и меньшие задержки, чем традиционные связки мостов и маршрутизаторов.

**Коммутаторы ячеек** - устройства, реализующие *ATM*-коммутацию данных, разделенных на короткие ячейки фиксированного размера. Ориентация на установление соединений позволяют *ATM* обеспечивать классы (качество) обслуживания, пригодные для всех видов мультимедийного трафика, включая данные, голос и видео.

**Концентратор или hub** (*concentrator or hub*) - связующий компонент сети, к которому подключаются все компьютеры в сети топологии "Звезда". Концентратор обеспечивает связь компьютеров друг с другом при использовании витой пары, также используется в сетях *FDDI* для подключения компьютеров в центральном узле.

**Концентратор MSAU** (*Multi Station Access Unit*) - устройство для доступа к множеству станций, которое осуществляет маршрутизацию пакета к следующему узлу в сетях с методом доступа с передачей маркера.

**Коммутация пакетов** - принцип организации связи по сети, основанный на передаче информации между двумя взаимодействующими узлами в виде отдельных пакетов. При этом каждый промежуточный узел сети занимается маршрутизацией пакетов, приходящих от соседних узлов, к другим соседним узлам, в соответствии с некоторым алгоритмом, обеспечивающим доставку пакета конечному узлу-получателю. Каждый из пакетов может приходиться к получателю различными маршрутами; в результате, нагрузка на линии и узлы сети может распределяться более равномерно по сравнению с коммутацией соединений, что снижает себестоимость передачи информации при той же пропускной способности. С другой стороны, среднее время доставки пакетов оказывается выше, а сами пакеты могут приходиться в произвольном порядке. Кроме того, возможны потери пакетов или их дублирование из-за сбоев связи на промежуточных узлах.

**Коммутация соединений** - принцип организации связи по сети, основанный на предварительном установлении соединения между двумя взаимодействующими узлами и последующей передаче информации между ними по этому соединению. При этом каждый промежуточный узел сети занимается маршрутизацией только на этапе установления соединения. Этот подход отличается от коммутации пакетов гарантированным временем доставки информации, причем в порядке её поступления и без дублирования, но за счёт большей неравномерности нагрузки на оборудование сети при той же пропускной способности.

**Конвертор протоколов** - устройство, включаемое в линию между двумя смежными узлами сети, преобразующее сигналы одного протокола связи (поступающие со стороны одного узла) в эквивалентные сигналы другого протокола (отправляемые в сторону другого узла). Использование конверторов позволяет соединять несовместимое оборудование.

**Контроллер домена** - компьютер в домене *Windows*, работающий под управлением *Windows Server* и управляющий взаимодействием пользователей в домене.

**Корпоративная вычислительная сеть** - сеть, работающая по протоколу *TCP/IP* и не обязательно подключенная к Интернет, но использующая его коммуникационные стандарты и сервисные приложения, обеспечивающие доставку данных пользователям сети; эксплуатируется в пределах (крупной) организации.

**Корпоративная сеть** (*Enterprise Network*) - крупномасштабная сеть, обычно соединяющая многие локальные сети.

**Кеширование** - запоминание наиболее часто используемых файлов или сообщений в специально отведенной памяти для более быстрого обращения к ним.

**Линия** - элемент сети, соединяющий два узла.

**Локальная вычислительная сеть (ЛВС, LAN)** - программно-аппаратный комплекс, включающий компьютеры и другие интеллектуальные устройства, соединенные линиями, не требующими уплотнения и коррекции ошибок передаваемой информации.

**Локальная вычислительная сеть (ЛВС)** - система связи отдельно расположенных ЭВМ на относительно небольшом расстоянии (обычно в пределах помещения и/или этажа здания); обычно объединяет до нескольких десятков (чаще однотипных) компьютеров.

**Локальная сеть** (*Local-Area Network*) - сеть, системы которой расположены на небольшом расстоянии друг от друга.

**Магистраль** (*backbone*) - основной кабель, от которого кабели трансиверов идут к компьютерам, повторителям и мостам.

**Манчестерское кодирование** - схема передачи двоичных данных, применяемая во многих сетях. При передаче бита, равного 1, в течение временного интервала, который отведен для его передачи, значение сигнала меняется с положительного на отрицательное. При передаче бита равного 0, в



течение временного интервала, который отведен для его передачи, значение сигнала меняется с отрицательного на положительное.

**Маркер (token)** - уникальная комбинация битов. Когда рабочая станция в ЛВС получает маркер, она имеет право начать передачу данных.

**Маршрутизатор (Router)** - компьютер или интеллектуальное устройство, позволяющее соединять сети с различными адресными пространствами *IP* или сети, работающие по разным протоколам. Все порты маршрутизаторов имеют собственную адресацию сетевого или канального уровня.

**Маршрутизация (routing)** - процесс определения в коммуникационной сети пути, по которому блок данных может достигнуть адресата.

**Маска сетевая** - 4-байтовое число, позволяющее получателям пакетов различать сетевую и машинную часть *IP*-адреса.

**Метод доступа** - способ определения, какая рабочая станция сможет следующей использовать ЛВС. Кроме того, также называется набор правил, используемых сетевым оборудованием, чтобы направлять поток сообщений через сеть, а также один из основных признаков, по которым различают компоненты сетевого оборудования.

**Метод доступа к каналу (channel access method)** - правила, используемые для определения, какой компьютер может посылать данные по сети, тем самым предотвращающее потерю данных из-за коллизий.

**Метод доступа** - набор правил, обеспечивающих арбитраж доступа к среде передачи. Примерами методов доступа являются *CSMA/CD (Ethernet)* и передача маркера (*Token Ring*).

**Метод множественного доступа с прослушиванием несущей и разрешением коллизий (CSMA/CD)** - метод доступа к каналу связи, который устанавливает следующий порядок: если рабочая станция хочет воспользоваться сетью для передачи данных, она сначала должна проверить состояние канала, начинать передачу станция может, если канал свободен. В процессе передачи станция продолжает прослушивание сети для обнаружения возможных конфликтов. Если возникает конфликт, в случае, когда два узла попытаются занять канал, то обнаружившая конфликт интерфейсная плата, выдает в сеть специальный сигнал, и обе станции одновременно прекращают передачу.

**Метод обработки запросов по приоритету** - метод доступа к каналу связи, где всем узлам сети предоставляется право равного доступа. Концентратор опрашивает каждый порт и проверяет наличие запроса на передачу, а затем разрешает этот запрос в соответствии с приоритетом.

**Метод с передачей маркера или полномочия (TRMA)** - метод доступа к каналу связи, в котором от компьютера к компьютеру передается маркер, дающий разрешение на передачу сообщения. При получении маркера рабочая станция может передавать сообщение, присоединяя его к маркеру, который переносит его по сети. Каждая станция, находящаяся между передающей и принимающей, "видит" это сообщение, но только станция-адресат принимает его. При этом она создает новый маркер.

**Модель взаимодействия открытых систем *OSI*** - модель иерархического взаимодействия сетевых протоколов, разработанная Международной организацией по стандартизации (*ISO*). Предполагает наличие семи протокольных уровней: физического, канального, сетевого, транспортного, сеансового, представительного и прикладного.

**Модель взаимодействия протоколов *TCP/IP*** - модель иерархического взаимодействия сетевых протоколов семейства TCP/IP. Включает в себя 4 уровня: канальный, межсетевой, транспортный и прикладной.

**Модем (*Modem*)** - устройство, осуществляющее преобразование цифрового сигнала в аналоговый для передачи его по низкоскоростным линиям связи, а также обратное преобразование. В настоящее время модемы выполняют целый ряд дополнительных функций, важнейшими из которых являются коррекция ошибок и сжатие информации.

**Модуляция** - преобразование модемом цифровых сигналов в аналоговые для передачи по линиям связи.

**МККТТ (*ССИТТ*)** - Международный Консультационный Комитет по Телефонии и Телеграфии, прежнее название *ITU-T*.

**Многоадресная рассылка пакетов (*Multicasting*)** - возможность в сетях передачи данных посылать пакеты сразу нескольким (или даже всем) узлам сразу.

**Мобильная сеть** - телефонная сеть, поддерживающая мобильных абонентов (например, с использованием радиосвязи).

**Модем (*modem*)** - сокращение от МОДулятор-ДЕМОдулятор. Устройство связи, позволяющее компьютеру передавать данные по обычной телефонной линии. При передаче преобразует цифровые сигналы в аналоговые. При приеме преобразует аналоговые сигналы в цифровые.

**Монитор сети (*network monitor*)** - программно-аппаратное устройство, которое отслеживает сетевой трафик. Проверяет пакеты на уровне кадров, собирает информацию о типах пакетов и ошибках.

**Мост (*bridge*)** - это прибор, позволяющий рабочим станциям одной сети обращаться к рабочим станциям другой. Мосты используются для разделения ЛВС на маленькие сегменты. Выполняет соединение на канальном уровне модели *OSI*. Мост преобразует физический и канальный уровни различных типов. Используется для увеличения длины или количества узлов.

**Мост - маршрутизатор (*bridge-router*)** - сетевое устройство, которое объединяет лучшие функции моста и маршрутизатора.

**Мультиплексор (*multiplexor*)** - устройство, позволяющее разделить канал передачи на два или более подканала. Может быть реализован программно. Кроме того, используется для подключения нескольких линий связи к компьютеру.

**Мультиплексирование** – одновременная передача нескольких логических сигналов по одному физическому каналу.

**Несущая (*carrier*)** - непрерывный сигнал, на который накладывается другой сигнал, несущий информацию.

**Неэкранированная витая пара (UTP - Unshielded Twisted Pair)** - кабель, в котором изолированная пара проводников скручена с небольшим числом витков на единицу длины. Скручивание проводов уменьшает электрические помехи извне при распространении сигналов по кабелю.

**Обработка запросов по приоритету (demand priority)** - высокоскоростной метод доступа к каналу, используемый сетями *100VG-Any LAN* в топологии звезда.

**Общий ресурс (shared resource)** - любое устройство, данные или программа.

**Одноранговая архитектура (peer-to-peer architecture)** - концепция информационной сети, в которой каждая абонентская система может предоставлять и потреблять ресурсы.

**Операционная система (ОС)** - комплекс программ, обеспечивающих взаимодействие центрального процессора компьютера с пользователем и внешними устройствами.

**Оптический кабель (optical cable)** - кабель, передающий сигналы света. Для создания оптического кабеля используются световоды, каждый из которых имеет несколько слоев защитных покрытий, улучшающих механические и оптические характеристики этих световодов.

**Оптический канал (optical channel)** - канал, предназначенный для передачи сигналов света.

**Оптоволокно (optical fiber)** - среда, по которой цифровые данные передаются в виде модулированных световых импульсов.

**Пакет (Packet)** - блок передаваемых по сети данных, представляющий собой часть сообщения с добавленным заголовком, идентификационным номером, адресом отправителя и получателя, а также с информацией контроля ошибок. Обычно длина пакета ограничена. Короткое сообщение может полностью включаться в пакет. Используется на сетевом уровне модели OSI.

**Пакет (датаграмма)** - определенное количество байт, сгруппированное вместе и посылаемое одновременно (практически все сети коммуникаций передают данные небольшими частями - пакетами или датаграммами).

**Патч-корд (Patch cord)** - многожильный кабель для подключения патч-панели к компьютеру.

**Патч-панель (Patch panel)** - выносное устройство, состоящее из большого количества розеток, связанное патч-кордом с сетевым адаптером компьютера.

**Передача данных (data communications)** - процесс транспортирования данных из одной системы в другую.

**Повторитель или репитер (repeater)** - устройство, усиливающее сигналы с одного отрезка кабеля и передающее их в другой отрезок без изменения содержания. Повторители увеличивают максимальную длину трассы ЛВС.

**Полоса пропускания (bandwidth)** - характеристика линии, обозначающая разность между максимальной и минимальной частотами, которые могут быть переданы по ней без существенных потерь. Измеряется в

герцах (Гц). Чем больше полоса пропускания и чем ниже уровень шума, тем больше пропускная способность у аналоговой линии.

**Полудуплексный (Half duplex)** – тип канала связи, поддерживающий возможность поочередной передачи информации в обоих направлениях (но одновременная передача в обе стороны невозможна).

**Порт (Port)** - 1. Разъем сетевого устройства для подключения кабеля. 2. Шестнадцатибитовый номер, используемый в протоколах транспортного уровня (TCP и UDP) для определения сетевой службы.

**Последовательная линия связи** - относительно низкоскоростная линия, где информация передается в виде следующих друг за другом битов.

**Провайдер (provider)** - организация, которая обеспечивает подключение к Internet и другие услуги за определенную плату.

**Прокси-сервер** - уполномоченный сервер, выполняющий много функций, основными из которых являются: преобразование IP-адресов клиентов для передачи их запросов по сети и кеширование ответов от Web-серверов.

**Пропускная способность** - объем информации, который передастся по каналу связи в единицу времени.

**Протокол** - набор правил и соглашений по передаче данных в сети, определяющий содержимое, формат, синхронизацию и порядок обработки порций информации, а также проверку ошибок в них.

**Рабочая группа (workgroup)** - набор компьютеров, объединенных для удобства при просмотре сетевых ресурсов одним именем.

**Распределитель (hub)** - центр ЛВС или кабельной системы с топологией звезда. В этой роли могут быть файл-серверы или концентраторы. Они содержат сетевое программное обеспечение и управляют коммуникациями внутри сети, а также могут работать как шлюзы к другим ЛВС.

**Рабочая станция (PC)** - компьютер, включенный в сеть и, как правило, не выполняющий функций по обслуживанию обращений от других сетевых компьютеров.

**Разрешение адресов** - установление соответствия между физическим адресом сетевого адаптера и IP-адресом.

**Расширение спектра (Spread Spectrum, SS)** – переход от узкополосного спектра сигнала к широкополосному спектру. Используется для повышения помехоустойчивости передаваемого сигнала.

**Региональная сеть (Metropolitan Area Network)** - сеть, соединяющая множество локальных сетей в рамках одного района, города или региона.

**Репитер (Repeater)** – устройство для усиления затухающего сигнала, включаемого в линию для увеличения её длины сверх максимальной дальности, возможной для данного протокола связи.

**Ресурсы (Resources)** - это программы, файлы данных, а также принтеры и другие, совместно используемые периферийные устройства в сети.

**Сайт (Site)** - файловое пространство, где размещается сетевая информация.

**Сеанс** - сообщение, в котором предполагается создание логической связи для обмена сообщениями. Сеанс должен быть сначала установлен, после этого происходит обмен сообщениями. После окончания обмена сеанс должен быть закрыт.

**Сегмент** - 1. Часть локальной сети, отделенная от других частей коммутатором или маршрутизатором. 2. Пакет TCP.

**Сервер** - 1. Программа, обслуживающая запросы клиентов. 2. Узел вычислительной сети, к которому предъявляются повышенные по сравнению с рабочими станциями требования по производительности, надежности и другим параметрам.

**Серверное приложение** - выполняющееся ЭВМ-приложение, могущее выполнять запросы, генерируемые другим (выполняющемся на данной или удаленной ЭВМ) приложением-клиентом.

**Сервис** - процесс обслуживания объектов.

**Сетевое окружение** - представление сетевых объектов в системах ОС.

**Сетевая служба** (*network service*) - вид сервиса, предоставляемого сетью

**Сеть** (*Network*) - группа компьютеров и/или других устройств, каким-либо способом соединенных для обмена информацией и совместного использования ресурсов.

**Сеть передачи данных** - сеть, предназначенная для передачи цифровых данных любой природы. Примером локальной сети передачи данных является Ethernet, а глобальной - Интернет. Сети ISDN также предоставляют, наряду с телефонной связью, услуги по передаче данных. Обычно данные передаются между узлами в виде пакетов. Сети передачи данных могут быть основаны на коммутации пакетов и/или коммутации соединений. По сетям передачи данных можно передавать телефонные звонки.

**Сетевой адаптер** (сетевой интерфейс или сетевая интерфейсная карта) - устанавливаемая в компьютер печатная плата с разъемом для соединения с сетью.

**Сжатие информации** (компрессия) - архивирование передаваемых по низкоскоростным линиям данных с целью уменьшения их объема.

**Симплексный** (*Simplex*) – тип канала связи, поддерживающий возможность передачи информации только в одном направлении.

**Сообщение** - логически законченная порция информации, формируемая или потребляемая конечным пользователем: прикладной программой или человеком. В электронной почте - аналог письма.

**Стек протоколов** - набор протоколов, преобразующих порции информации путем инкапсуляции их в формат более низкого уровня при передаче и обратного преобразования при приеме.

**Телекоммуникации** (*telecommunication*) - область деятельности, предметом которой являются методы и средства передачи информации.

**Терминал** (*terminal*) - устройство ввода/вывода данных и команд в систему или сеть.

**Терминал** - 1. Оконечное устройство (узел) для подключения к сети. Обычно подразумевается, что такое устройство достаточно простое и не имеет

средств для сложной обработки информации, получаемой из сети и выдаваемой пользователю.

**Территориально распределенная сеть** - компьютеры и сетевые интеллектуальные устройства, соединенные линиями, требующими уплотнения или коррекции ошибок при передаче информации.

**Топология (*Topology*) сети** - физическая конфигурация машин в сети.

**Трансивер** - устройство, предназначенное осуществлять передачу данных с сетевых интерфейсных плат в физическую среду.

**Трафик** - 1. Поток данных по линиям связи. 2. Нагрузка.

**Удаленный доступ (*Dial-up*)** - доступ к системе или по сети к другому компьютеру пользователя, зарегистрированного на своем ПК по своей учетной записи.

**Удаленный доступ (*Remote access*)** - технология взаимодействия абонентских систем с локальными сетями через территориальные коммуникационные сети.

**Узел (*Node*)** - точка присоединения к сети; устройство, подключенное к сети.

**Узел (*Host*)** - подключенное к сети устройство (обычно компьютер), идентифицируемое собственным адресом (например, в сети InterNet host-адресом является уникальное 32-разрядное двоичное число).

**Учетная запись** - запись в файле операционной системы, где содержится вся информация о пользователе: имя, пароль, принадлежность к группе, права и полномочия, предоставляемые для доступа к ресурсам.

**Файл-сервер** - выделенная ЭВМ, выполняющая функции хранения данных и программ, используемых пользователями на клиентских ЭВМ.

**Физическая среда (*Physical media*)** - материальная субстанция, через которую осуществляется передача сигналов.

**Фрагментация (*Fragmentation*)** - процесс разделения длинного пакета данных с более высокого уровня на последовательность более коротких пакетов на нижнем уровне.

**Циклический избыточный код (*CRC - Cyclical Redundancy Check*)** - число, получаемое в результате математических преобразований над пакетом данных и исходными данными. При доставке пакета вычисления повторяются. Если результат совпадает, то пакет принят без ошибок.

**Цифровая линия (*Digital line*)** - линия связи, передающая информацию только в двоичной (цифровой) форме.

**Цифровая сеть комплексных услуг (*ISDN - Integrated Services Digital Network*)** - цифровая сеть связи, обеспечивающая коммутацию каналов и коммутацию пакетов.

**Цифровой (*Digital*)** - способ представления информации в виде той или иной физической величины, принимающей ряд фиксированных значений.

**Частота** - число периодов изменения некоторой физической величины в единицу времени. В случае звука обозначает его высоту. Частота измеряется в герцах (Гц) и килогерцах (1 кГц=1000 Гц). Самый низкий звук, слышимый человеческим ухом, составляет примерно 16 Гц, самый высокий - около 20

кГц. Для высококачественной передачи человеческой речи достаточно полосы частот от 100 Гц до 4 кГц.

**Шина (Bus)** - специализированный набор параллельных линий в персональном компьютере.

**Шина (Bus)** - канал передачи данных, отдельные части которого называются сегментами.

**Широковещательная передача (Broadcast)** - технология передачи сигналов, таких как сетевые данные, посредством использования передатчика какого-либо типа для посылки этих сигналов по коммуникационному носителю.

**Шифрование (Encryption)** - преобразование информации для ее защиты от несанкционированного доступа.

**Шифрование** - способ защиты информации от несанкционированного доступа.

**Шлюз (Gateway)** - узел сети, соединяющий её с другой сетью. Отвечает за преобразование протоколов связи (маршрутизатор сетей *TCP/IP* или устройство связи вычислительных сетей с существенными различиями сетевых архитектур).

**Шлюз (Gateway)** - устройство, посредством которого соединяются сети разных архитектур.

**Экран (Shielding)** - металлическая оплетка или цилиндр, навитый из фольги. Защищает передаваемые данные, уменьшая внешние электрические помехи, которые называются шумом.

**Экранированная витая пара (Shielded Twisted-Pair, STP)** - витая пара, окруженная заземленной металлической оплеткой, которая служит экраном.

**Эталонная модель взаимодействия открытых систем (OSI - Open System Interconnection)** - семиуровневая модель, которая стандартизирует уровни услуг и виды взаимодействия между системами в информационной сети при передаче данных.

**Ячеистая топология сети (Mesh network topology)** - топология, используемая в глобальных вычислительных сетях. К любому узлу существует несколько маршрутов.

**Ячейка (Cell)** - в сетях *ATM* - кадр фиксированной длины, 53 байта.

**Ad Hoc или IBSS (Independent Basic Service Set)** - режим беспроводной сети, когда клиентские станции взаимодействуют непосредственно друг с другом без точки доступа (в переводе с латыни *ad hoc* означает "для конкретной цели").

**Advanced Encryption Standard (AES, или Rijndael)** – стандарт шифрования, основанный на симметричном алгоритме блочного шифрования. Пришёл на смену устаревшему стандарту 3DES. Размер блока при шифровании *AES* составляет 128 бит, длина ключа может составлять 128, 192 или 256 бит.

**CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)** – класс протоколов доступа к среде передачи данных - «метод множественного доступа с обнаружением несущей и обнаружением коллизий».

**CSMA/CA** (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*) – класс протоколов доступа к среде передачи данных в беспроводных сетях «метод множественного доступа с обнаружением несущей и избеганием коллизий». Перед передачей данных в "эфир", станция отправляет специальный фрейм, *RTS (Ready To Send)*, который извещает остальных о том, что узел готов передать данные, а также предполагаемую продолжительность и узел назначения. Узел назначения отвечает фреймом *CTS (Clear To Send)*, сообщая о готовности к приёму.

**Ethernet** - наиболее распространённый на сегодняшний день стандарт локальных сетей передачи данных. Использует витую пару (тип *10Base-T*) или коаксиальный кабель (*10Base-2* и *10Base-5*) уровня *Category 3*, что обеспечивает скорость передачи до 10 Мбит/с. Стандарт *Fast Ethernet (100Base-T)*, использующий витую пару уровня *Category 5* имеет скорость 100 Мбит/с. В идеологии *Ethernet* отсутствуют устройства, координирующие порядок передачи пакетов узлами; вместо этого каждый узел самостоятельно выбирает для передачи момент, когда никакой другой узел не передаёт. В конфликтных ситуациях выдерживается случайная пауза, после чего попытка передачи повторяется.

**E1** - Европейский стандарт для цифровых линий связи, состоящих из 30 каналов по 64 Кбит/с каждый (используются в телефонии в качестве голосовых каналов), причем на каждый из этих каналов имеется по четыре дополнительных, по 0,5 Кбит/с каждый (они называются А, В, С и D и используются в качестве управляющих каналов). E1 стандартизован *ITU-T* в рекомендациях *G.703* и *G.732*.

**DSS-1** (*Digital Subscriber Signaling #1*) - абонентский протокол в сетях *ISDN*. Использует D-канал для управления соединениями по В-каналам и состоит из трех логических уровней. Первый, "физический" уровень - это сам принцип разделения на В- и D-каналы. Вторым уровнем ("канальный") называется *LAPD* (или *Q.921*); он обеспечивает двустороннюю передачу пакетов (которые в *ISDN* называют кадрами) по D-каналу. На основе *LAPD* работают протоколы третьего уровня ("сетевые") - *Q.931* (коммутация соединений), *X.25* (коммутация пакетов) и другие.

**DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*) – технология модуляции, обеспечивающая большую производительность путём расширения спектра излучаемого сигнала. Метод заключается в повышении тактовой частоты модуляции, при этом, при этом каждому символу передаваемого сообщения ставится в соответствие некоторая достаточно длинная псевдослучайная последовательность.

**Q.931** - рекомендация *ITU-T*, описывающая абонентский протокол для управления телефонными соединениями в сети *ISDN*, действующий на основе протокола *LAPD*. Наряду с *X.25* является частью 3-го логического уровня в *DSS-1*.

**Fast Ethernet (100Base-T)** - версия *Ethernet*, использующая витую пару уровня *Category 5*, обеспечивает скорость передачи данных до 100 Мбит/с.



**FHSS** (*Frequency Hopping Spectrum Spreading*) – технология передачи сигнала с быстрой псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Метод заключается в периодическом скачкообразном изменении несущей частоты по определенному алгоритму, известному приемнику и передатчику. Стандарт *IEEE 802.11* предусматривает 79 возможных алгоритмов, при этом длительность посылки составляет 20 мс.

**Host** - узел сети, к которому подключаются терминалы.

**IP-адрес** - адрес узла в сети Интернет. Представляет собой 32-битное число. Распространён формат записи в виде десятичных чисел, разделённых точками, например, "207.46.230.218".

**IPX** - протокол связи, используемый в сетях передачи данных *Novell Netware*. Эти сети были очень популярны в 1990-е гг., однако они в настоящее время почти полностью вытеснены сетями на основе *TCP/IP*

**ISDN** (*Integrated Services Digital Network*) - концепция единой цифровой сети для передачи звука и данных, являющаяся обобщением обычных телефонных сетей (*POTS*). Для связи узлов между собой используются линии типа *ISDN-BRI* и *ISDN-PRI*.

**ISDN-BRI** (*ISDN Basic Rate Interface. =2B+D*) - цифровая линия, применяемая в сетях *ISDN*. Специфицирована в рекомендации *ITU-T I.430*. Состоит из трех цифровых каналов: двух В-каналов (по 64 Кбит/с каждый), применяемых для передачи речи или данных, и одного D-канала (по 16 Кбит/с), предназначенного для управления состоянием соединений в В-каналах. Оба В-канала действуют независимо друг от друга: по ним можно одновременно передавать два телефонных звонка, или передавать данные с суммарной скоростью до 128 Кбит/с. *SDN-BRI* часто используется для связи цифрового телефона с мини-АТС.

**ISDN-PRI** (*ISDN Primary Rate Interface*) - цифровая линия, применяемая в сетях *ISDN*. Существует европейский и американский варианты *ISDN-PRI*. Европейский вариант называется *30B+D* и основан на *E1*. При этом 30 каналов *E1* используются как 30 В-каналов (64 Кбит/с каждый), а все вспомогательные каналы объединяются в один общий D-канал (тоже 64 Кбит/с). Американский стандарт называется *23B+D* и использует, соответственно, американский аналог *E1* - линию типа *T1*. В этом случае 24 цифровых каналов используются как 23 В-канала и один D-канал. Все В-каналы действуют независимо друг от друга: по ним можно одновременно передавать телефонные звонки или данные с суммарной скоростью до 1920 Кбит/с. D-канал используется для управления В-каналами.

**ISO** (*International Organization for Standardization*, <http://www.iso.org/>) - Международная организация по стандартизации.

**LAPD** (*Link Access Procedure on the D-channel*) - протокол связи в линиях *ISDN*, обеспечивающий надежную двустороннюю передачу пакетов (которые в *ISDN* называют кадрами) по D-каналу. Гарантируется очередность их передачи, обнаружение и исправление ошибок. Специфицирован в рекомендации *ITU-T Q.921*. *LAPD* реализует 2-й уровень *DSS-1*, на основе

которого работают протоколы 3-го уровня ("сетевые") - *Q.931* (коммутация соединений), *X.25* (коммутация пакетов) и другие

**OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) – ортогональное частотное мультиплексирование. Метод сводится к использованию большого количества близко расположенных ортогональных поднесущих. Практическая реализация выполняется использованием быстрого преобразования Фурье.

**MAC-адрес** (*Media Access Control*) — аппаратный адрес, идентифицирующий устройство в сети.

**QoS** (*Quality of Service*, "качество обслуживания") -стандарты в телекоммуникациях, определяющие критерии качества обслуживания (например, разборчивость речи, время задержки звука, время соединения и т.д.).

**RJ-11** - миниатюрный 6-проводной разъём. Наиболее распространённый в мире стандарт для аналоговых абонентских линий, а также для *ISDN-BRI*.

**RJ-45** - миниатюрный 8-проводной разъём (международный стандарт ISO 8877). Применяется для подключения линий *E1*, *T1*, *ISDN-BRI* и *ISDN-PRI*, а также для *Ethernet* на витой паре (типа *10Base-T*).

**TCP** (*Transmission Control Protocol*) - один из базовых протоколов связи на основе *IP*, который гарантирует доставку пакетов в правильном порядке, без потерь и дублирования. Перед передачей пакетов требуется предварительное установление виртуального соединения между взаимодействующими узлами.

**TCP/IP** – семейство протоколов связи, применяемых в Интернет и в локальных сетях передачи данных, основанных на базовом протоколе *IP*: *RSVP*, *RTCP*, *RTP*, *TCP*, *UDP* и многих других на их основе (например, *FTP*, *HTTP*, *POP3*, *RPC*, *SMTP*).

**TDM** (*Time Division Multiplexing*) -передача нескольких каналов по одной линии по принципу деления времени.

**T1** - Американский стандарт для цифровых линий связи, состоящих из 24 каналов по 64 Кбит/с каждый (используются в телефонии в качестве голосовых каналов), причем на каждый из этих каналов имеется по два дополнительных, по 0,5 Кбит/с каждый (они называются А и В, используются в качестве управляющих каналов; | ВСК). Стандартизован *ITU-T* в рекомендациях *G.703* и *G.733*.

**UDP** (*User Datagram Protocol*) - один из базовых протоколов связи на основе *IP*, который позволяет передавать пакеты на заданный IP-адрес максимально быстро, без предварительного установления соединения. При этом *UDP* не гарантирует надежной доставки пакетов: они могут теряться или дублироваться из-за сбоев на промежуточных линиях и узлах сети, доставляться с произвольной задержкой, что может приводить к изменению порядка получения пакетов на принимающей стороне. На основе *UDP* действуют протоколы *RTP* и *RTCP*.

**Wireless AP, или WAP** (*Wireless Access Point*) — точка беспроводного доступа, центральное устройство беспроводной сети, используемое для организации соединения между беспроводными клиентами, а также для

соединения проводного и беспроводного сегментов, выполняя функции моста между ними. Точки доступа отличаются по таким основным параметрам как исполнение (внешнее или внутреннее), поддерживаемые протоколы (например, *802.11b* или *802.11a*), функциональность.

**Wi-Fi** - общее название стандартов оборудования беспроводных сетей, разработанных консорциумом *Wi-Fi Alliance*. Первые продукты носили марку *WaveLAN* и обеспечивали скорость передачи данных от 1 до 2 Мбит/с. Затем появился протокол *802.11*. В дальнейшем появились протоколы, позволяющие обеспечить более высокие скорости передачи данных, такие как *802.11b*, *802.11a*, *802.11g* и *802.11n*. Все они традиционно относятся к *Wi-Fi*.

**WLAN** (*Wireless Local Area Network*) — беспроводная локальная сеть, то есть компьютерная сеть, покрывающая относительно небольшую территорию, именно этим термином можно описать домашние беспроводные сети, основой которых служит точка доступа или беспроводной маршрутизатор.

**X.25** - абонентский протокол, используемый в некоторых сетях передачи данных. Наряду с *Q.931*, является протоколом 3-го уровня в *DSS-1*, предоставляющим услуги по передаче данных на основе коммутации пакетов.